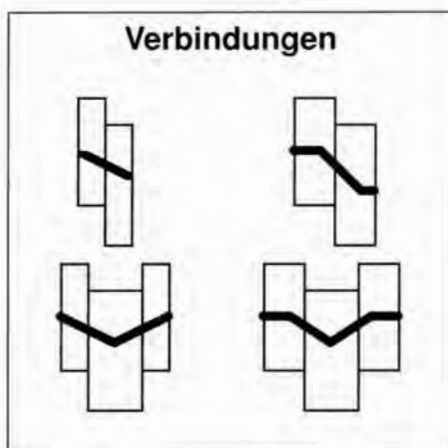
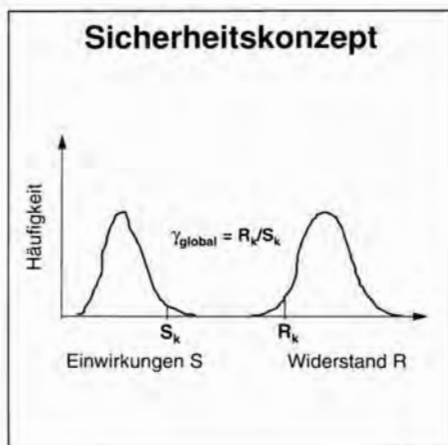
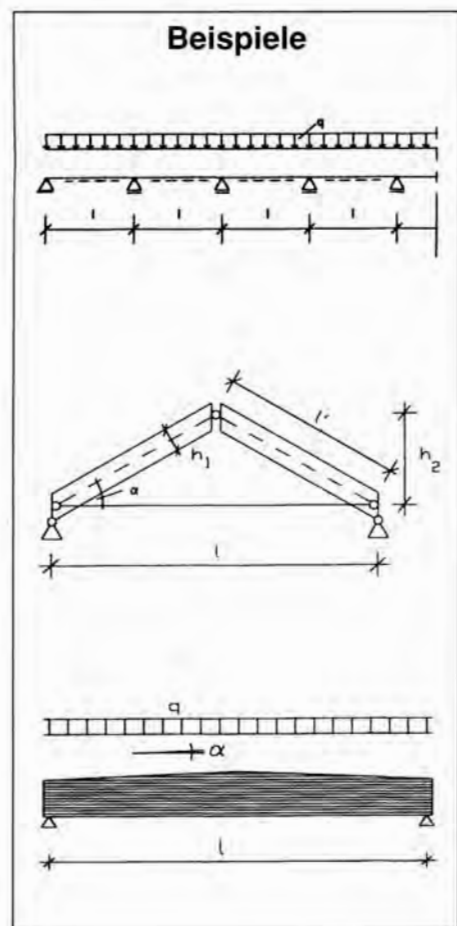
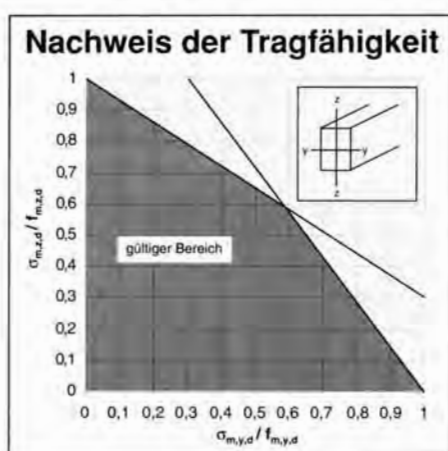
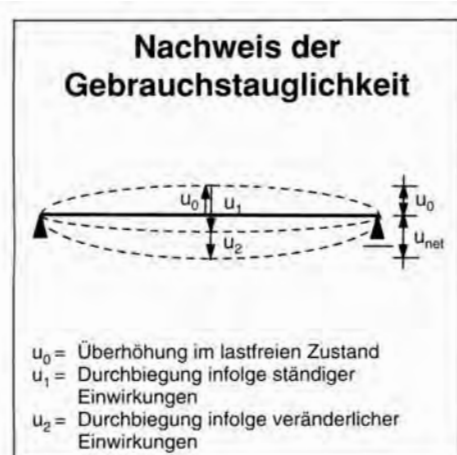


Bemessung nach Eurocode 5-1-1



Inhaltsverzeichnis

Folge 1 Bemessungsgrundlagen:	Seite
1 Einführung	3
1.1 Europäisches Technisches Normenwerk	3
1.2 Eurocodes	3
1.3 Eurocode 5 (EC 5)	3
1.4 Nationales Anwendungsdokument (NAD)	3
1.5 Erprobungsphase des Eurocode 5	4
1.6 Verwendung anderer Regelwerke	4
2 Grundlagen der Bemessung	5
2.1 Allgemeine Grundlagen	5
2.2 Einführung in das neue Sicherheitskonzept	5
2.3 Einwirkungen, Beanspruchungen	6
2.4 Baustoffeigenschaften	8
2.5 Querschnittsschwächungen	11
3 Nachweis der Gebrauchstauglichkeit	12
3.1 Allgemeines	12
3.2 Verformungen	12
3.3 Schwingungen	13
4 Nachweis der Tragfähigkeit für Bauteile und Konstruktionen	15
4.1 Grundbeanspruchungen	15
4.2 Pultdachträger, gekrümmte Träger und Satteldachträger	19
4.3 Stabilitätsnachweise	23
4.4 Nachweise nach Spannungstheorie II. Ordnung	24
4.5 Einzelabstützungen und Verbände	25
5 Verbindungen	26
5.1 Allgemeines	26
5.2 Tragfähigkeit auf Abscheren beanspruchter stiftförmiger Verbindungsmittel	27
5.3 Nagelverbindungen	30
5.4 Klammerverbindungen	36
5.5 Bolzenverbindungen	36
5.6 Stabdübelverbindungen	37
5.7 Holzschraubenverbindungen	39
5.8 Nagelplatten	40
6 Literaturverzeichnis	40
7 Beispiel: Einstieliges Pfettendach	41

Folge 2 Bemessungsbeispiele:

1 Hallentragwerk	49
1.1 Koppelpfetten (mit einschnittiger Holz-Holz-Nagelverbindung)	49
1.2 Dachbinder	52
1.2.1 Satteldachbinder mit geradem Untergurt	52
1.2.2 Satteldachbinder mit lose aufgesatteltem Firstkeil	55
1.2.3 Satteldachbinder mit fest verleimtem Firstkeil	59
1.2.4 Dreigelenkstabzug (mit zweischnittiger Stahl-Holz-Stabdübelverbindung)	59
1.3 Stützen	65
1.4 Seitenlasten	70
2 Fachwerkbinder	71
2.1 Bemessungsregeln	71
2.2 Dachverband (mit einschnittiger Stahl-Holz-Nagelverbindung)	73
3 Ermittlung der Bemessungswerte der Tragfähigkeit	77
4 Literatur- und Normenverzeichnis	78

Anhang 1: EDV-Hilfen für die Bemessung nach EC 5	79
Anhang 2: Bemessungstabellen	83

Vorwort

Grundlage für diese Informationsschriften bildet die Vornorm des sog. 'Eurocode 5, Teil 1-1' (offizielle Bezeichnung DIN V ENV 1995-1-1, Ausg. 06/94) und das zugehörige Nationale Anwendungsdokument (NAD). Da sich nahezu alle nachfolgenden Ausführungen auf den Teil 1-1 des Eurocode 5 beziehen, und Mißdeutungen somit ausgeschlossen sind, wird im folgenden die kürzere Bezeichnung EC5 verwendet. Falls auf andere Teile des Eurocode 5 Bezug genommen wird, so wird dies ausdrücklich vermerkt.

Die in Folge 2 benutzte deutsche Fassung des „Eurocode 3, Teil 1-1“ (offizielle Bezeichnung: Deutsche Fassung ENV 1993-1-1, Ausg. 04/92+Korrigendum) wird aus den gleichen Gründen EC 3, das zugehörige Nationale Anwendungsdokument NAD zum EC 3 genannt.

Die für die Bemessung benötigten Tabellen sind aus Gründen der praktischen Handhabung in einem getrennten Anhang am Ende dieser Informationsschrift zusammengefaßt.

Sämtliche Angaben gelten nur für die Laufzeit der Vornorm zum EC5.

Zur Folge 1:

In dieser Folge des holzbau handbuches werden die Grundlagen der 'kalten' Bemessung nach EC5 für übliche Hochbauten behandelt, wobei der Schwerpunkt auf Einzelbauteile und Verbindungen gelegt wird. Es werden jedoch auch Regelungen behandelt, die grundsätzlich für alle Eurocodes gelten, wie z.B. die Regelungen über die Einwirkungen.

Nicht behandelt werden in dieser Folge zusammengesetzte Bauteile (geleimte, dünnstegige Träger, geleimte Tafелеlemente, nachgiebig verbundene Biegeträger und Druckstäbe) und zusammengesetzte Tragwerke (Dach- und Deckenscheiben, Wandscheiben). Für diese Fälle muß auf den EC5 verwiesen werden.

Zur Folge 2

In dieser Folge werden Bauteile eines typischen, im Holzbau verwendeten Hallentragwerks bemessen. Die Halle wurde dem Programm der *Standardhallengesellschaft bR, Füllenbachstraße 6, 40474 Düsseldorf*, entnommen. Dachbinder aus BS-Holz mit verschiedenen Dachneigungen und statischen Systemen können gewählt werden. Die Verbindungen werden, wie für die unterschiedlichen Bauteile benötigt, ebenfalls berechnet.

Die Bemessungsverfahren werden lediglich für Fachwerkbinder näher erläutert, da diese in der Folge 1 nicht behandelt werden. Als Beispiel wird hier ein Dachverband der Standardhalle bemessen.

Es wurde angestrebt, alle Berechnungen mit Formel- und Zahlengleichungen so ausführlich anzubieten, daß sie leicht nachvollzogen werden können. In den Randspalten sind Erläuterungen zum Rechengang sowie Querverweise zu den Eurocodes, hier zu EC 5 und EC 3, sowie zum NAD gegeben. Es wird empfohlen, diesen Querverweisen zu folgen, da dabei mit den praxisnahen Beispielen auch der Einstieg in die neuen Normen und die zugehörigen Anwendungsdokumente erleichtert wird.

1 Einführung

1.1 Europäisches Technisches Normenwerk

Wesentliche politische Voraussetzungen für die Schaffung des europäischen Binnenmarktes wurden durch das Weißbuch der KEG über die Vollendung des Binnenmarktes und die darauf folgende Einheitliche Europäische Akte geschaffen. Für den Bereich des Bauwesens wurde zur Vollendung des Binnenmarktes u.a. die sog. 'Bauproduktenrichtlinie (BauPR)' vom 21.12.1988 erlassen, in der die wesentlichen Anforderungen an die Bauprodukte des Hoch- und Tiefbaus geregelt sind (mechanische Festigkeit und Standsicherheit; Brandschutz; Hygiene, Gesundheit und Umweltschutz; Nutzungssicherheit; Schallschutz; Energieeinsparung und Wärmeschutz).

Nach der BauPR erfüllen Bauprodukte dann die wesentlichen Anforderungen, wenn sie mit (europäisch) 'harmonisierten Normen' oder mit (europäisch anerkannten) 'nationalen technischen Spezifikationen' übereinstimmen. Gibt es für ein Bauprodukt solche Normen nicht oder weicht es von diesen wesentlich ab, so bedarf es einer 'Europäischen Technischen Zulassung' (ETA).

Nach der BauPR ist im wesentlichen zwischen zwei Normenkategorien zu unterscheiden:

- **Kategorie A:** Dies sind Normen, die Entwurf und Bemessung sowie Ausführung von Bauwerken betreffen. Normen der Kategorie A sind z.B. die Eurocodes. Für diese Normen besteht nach der BauPR keine Zurückziehungsverpflichtung nationaler Normen. Europäische Normen, die bauaufsichtlich jedoch als anwendbar angesehen werden, werden durch bauaufsichtliche Einführung als Technische Baubestimmung bekannt gemacht. Das Zurückziehen nationaler Normen ist in diesen Fällen ein freiwilliger Akt.
- **Kategorie B:** Dies sind Normen, die ausschließlich Bauprodukte betreffen, für die eine Konformitätsbescheinigung und eine Kennzeichnungspflicht gemäß der BauPR erforderlich ist. Die Normen der Kategorie B (z.B. Baustoffeigenschaften, Herstellung, Prüfverfahren) sind unverzichtbares und unmittelbares Instrument zur Umsetzung der BauPR. Für diese Normen ist, sofern sie im Amtsblatt der Europäischen Union als sog. harmonisierte Normen veröffentlicht sind, die Anwendung zwingend vorgeschrieben, d.h. hier gibt es eine staatliche Zurückziehungsverpflichtung nationaler Normen.

Ziel der europäischen Normungsarbeiten ist, daß die endgültigen europäischen Normen in allen Staaten des Europäischen Wirtschaftsraumes angewendet werden, und daß sie nach gewissen Übergangszeiten die entsprechenden nationalen Normen ersetzen.

Bezüglich des EC 5 lassen sich noch keine festen Termine für den Zeitpunkt der Fertigstellung der Norm als EN und das Zurückziehen der Normenreihe DIN 1052 angeben. Eine Zurückziehung der DIN 1052 wäre außerdem nur dann sinnvoll, wenn die fertige EN mindestens das gesamte Spektrum des nach DIN 1052 Möglichen abdeckt und alle für die Anwendung der EN erforderlichen europäischen Normen vorliegen.

Nach dem derzeitigen Zeitplan ist vorgesehen, die Eurocodes bis zum Jahre 1999 in europäische Normen zu überführen. Ob dann – wie in *Bild 1.1* angenommen – die Bedingungen der Zurückziehung der DIN 1052 schon erfüllt sind, ist heute noch nicht abzusehen.

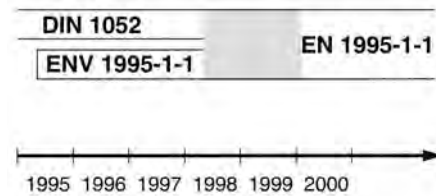


Bild 1.1 Möglicher Zeitplan

1.2 Eurocodes

Die Normenreihe für die Tragwerksbemessung umfaßt insgesamt 9 Eurocodes (vgl. Tabelle 1.1). Sie regeln den Entwurf, die Berechnung und die Bemessung von Tragwerken des Hoch- und Ingenieurbaus.

Tabelle 1.1 Übersicht über die Eurocodes

Eurocode (EC)	Inhalt
EC 1	Einwirkungen (Lastannahmen)
EC 2	Tragwerke aus Stahlbeton und Spannbeton
EC 3	Tragwerke aus Stahl
EC 4	Verbundtragwerke aus Stahl und Beton
EC 5	Holzbauwerke
EC 6	Mauerwerksbauten
EC 7	Geotechnik
EC 8	Erdbebensicherheit von Bauwerken
EC 9	Aluminiumkonstruktionen

1.3 Eurocode 5 (EC5)

Der EC5 gilt für den Entwurf, die Berechnung und die Bemessung von Holzbauwerken. Er ist hierbei in mehrere Teile gegliedert:

Teil 1-1 'Allgemeine Bemessungsregeln, Bemessungsregeln für den Hochbau' enthält die Grundlagen zur Bemessung von Bauwerken sowie Regeln, die hauptsächlich für Bauten des normalen Hochbaus anwendbar sind. Dieser Teil stellt somit das Pendant zur Normenreihe DIN 1052 dar. Teil 1-1 des EC 5 wurde von den CEN-Mitgliedern zur Veröffentlichung als europäische Vornorm ENV 1995-1-1 freigegeben.

Teil 1-2 'Allgemeine Bemessungsregeln, Zusätzliche Regeln für den Brandschutz' regelt die Bemessung von Holzbauwerken unter Brandeinwirkung. Teil 1-2 des EC 5 wurde ebenfalls zur Veröffentlichung freigegeben, die Arbeiten hinsichtlich der Übersetzung und des zugehörigen NAD's sind jedoch noch nicht so weit fortgeschritten, wie bei der 'kalten' Bemessung.

Teil 2 'Brücken' behandelt den Entwurf, die Berechnung und die Bemessung von Holzbrücken. Die Arbeiten zu diesem Teil haben 1994 erst begonnen.

Der EC5 behandelt ausschließlich Anforderungen an die Tragfähigkeit, die Gebrauchstauglichkeit und die Dauerhaftigkeit von Bauwerken. Andere Anforderungen, wie z.B. an den Wärme- oder Schallschutz, werden nicht behandelt.

Die Ausführung, d.h. die Erstellung von Bauwerken, wird nur insoweit behandelt, als sie die Qualitätsanforderungen an die verwendeten Baustoffe und Bauteile sowie die jeweiligen Ausführungsqualitäten betrifft.

1.4 Nationales Anwendungsdokument (NAD)

Die Eurocodes sind nicht unmittelbar anwendbar, da u.a. die benötigten Bezugsnormen (andere Eurocodes, Prüf- und Produktnormen) noch nicht in endgültiger Fassung veröffentlicht sind. Daher ist es für die Erprobungsphase der neuen Regelwerke erforderlich, diese mittels sog. Nationaler Anwendungsdokumente (NAD) anwendbar zu machen. Für den Bereich des Holzhaus wurde das NAD zum EC5 von einem Arbeitsausschuß des Normenausschusses Bauwesen (NABau) mit Unterstützung der Deutschen Gesellschaft für Holzforschung (DGfH) erarbeitet.

Das NAD enthält im wesentlichen die Materialeigenschaften für die verschiedenen Baustoffe sowie Querverweise auf nationale Normen. Darüber hinaus werden im NAD Regelungen des EC5 ergänzt, geändert oder sogar aufgehoben. Die wichtigsten Regelungen des NAD sind in dieser Informationsschrift berücksichtigt.

1.5 Erprobungsphase des EC 5

Für den Bereich des Holzhaus haben die Arbeiten zum EC5 einen Stand erreicht, der eine probeweise Anwendung der neuen Regelungen ermöglicht. Der EC5 wird daher – wie die anderen Eurocodes auch – von den obersten Bauaufsichtsbehörden der Länder als technische Regel bekanntgemacht und gilt dann als gleichwertige Lösung zu der nach wie vor parallel gültigen nationalen Normenreihe DIN 1052. Die Verwendung des EC5 wird dabei jedoch mit der Anwendung des NAD verknüpft.

Der hier behandelte Teil des EC5 wurde von CEN als Europäische Vornorm (ENV) mit einer Laufzeit von zunächst drei Jahren herausgegeben. Diese Vornorm ist sowohl für die praktische Erprobung als auch für Stellungnahmen gedacht. Stellungnahmen werden erbeten an die

Normenausschuß Bauwesen im DIN
Burggrafenstr. 6
10787 Berlin

Für jeden Tragwerksplaner, aber auch für die ausführenden Betriebe besteht die Notwendigkeit, sich früher oder später auf die neuen Regelungen einzustellen. Es empfiehlt sich wie bei allen Neuerungen, sich möglichst frühzeitig damit zu beschäftigen, um nicht später den Entwicklungen hinterherlaufen zu müssen. Die vorliegende Informationsschrift soll dazu beitragen, bestehende Hemmungen abzubauen und die ersten Schritte zu erleichtern.

1.6 Verwendung anderer Regelwerke

Der EC5 darf nur als Ganzes angewendet werden, was bedeutet, daß eine Bemessung entweder vollständig nach EC5 oder vollständig nach der Normenreihe DIN 1052 durchzuführen ist. Dieses 'Mischungsverbot' soll verhindern, daß bei der Bemessung eines Bauwerkes unterschiedliche Sicherheitsphilosophien miteinander vermischt werden.

Die Regelungen von EC5 dürfen prinzipiell nur dann mit Regelungen aus DIN-Normen oder anderen Regelwerken verknüpft werden, wenn dies im NAD ausdrücklich gestattet wird.

DIN 1052

Da aber die Regelungen des EC5 nicht so umfassend sind wie die der Normenreihe DIN 1052, sind Fälle, in denen der Tragwerksplaner mit dem EC5 nicht mehr weiterkommt, geradezu vorprogrammiert. Daher gestattet das NAD in den nachfolgend genannten Fällen die Anwendung der DIN 1052:

- Berücksichtigung des Schwind- und Quellverhaltens;
- wechselbeanspruchte Bauteile;
- Stöße und Anschlüsse in Zugstäben;
- Durchbrüche bei Biegeträgern aus Brettschichtholz;
- Scheiben mit vereinfachtem rechnerischen Nachweis;
- Dübelverbindungen mit Einlaß- und Einpreßdübeln;
- Versätze.

Andere DIN-Normen

Ausdrücklich gestattet wird im NAD die Anwendung der in Tabelle 1.2 angegebenen DIN-Normen. Werden jedoch während der Geltungsdauer des EC5 die entsprechenden Eurocodes mit den zugehörigen NAD's bauaufsichtlich bekanntgemacht, so dürfen diese anstelle der genannten DIN-Normen angewendet werden.

Tabelle 1.2 Im NAD aufgeführte DIN-Normen, die angewendet werden dürfen

DIN 4149 Teil 1 u. Teil 1 A1	Erdbebengefährdete Bauwerke
DIN 1074	Holzbrücken
DIN 4102 Teil 1 bis Teil 4	Brandschutz

Übergang zu anderen Baustoffen

Im Falle von Mischbauten tritt die Frage auf, wie beim Übergang auf andere Baustoffe zu verfahren ist (z.B. Nachweis von Stahlaschen). Liegen die zuständigen Eurocodes vor, so dürfen diese verwendet werden. Ist dies jedoch nicht der Fall, so können die zuständigen nationalen Regelungen angewendet werden.

Übergang zu nationalen Regelwerken

Während bei der Bemessung nach den Eurocodes Bemessungswerte der Schnittgrößen und Beanspruchungen eingehen, werden bei der Bemessung nach DIN-Normen Gebrauchs-Schnittgrößen und -Spannungen benötigt. Diese dürfen wie folgt bestimmt werden:

- die nach den Eurocodes berechneten Bemessungswerte der Beanspruchungen dürfen vereinfacht durch einen mittleren Sicherheitsbeiwert von $\gamma_F = 1,4$ dividiert werden (siehe hierzu auch Abschn. 2.3);
- alternativ hierzu dürfen selbstverständlich auch die Basis-Schnittgrößen, die sich auf der Grundlage der Lasten nach der Normenreihe DIN 1055 ergeben, zugrundegelegt werden.

2 Grundlagen der Bemessung

2.1 Allgemeine Grundlagen

2.1.1 Unterscheidung zwischen verbindlichen Regeln und Anwendungsregeln

Die Eurocodes unterscheiden zwischen verbindlichen Regeln und Anwendungsregeln:

- Die **verbindlichen Regeln** enthalten im wesentlichen allgemeine Angaben und Festlegungen, die unbedingt einzuhalten sind. Die verbindlichen Regeln sind im EC5 durch den Buchstaben P ('Prinzipien') gekennzeichnet.
- **Anwendungsregeln** sind allgemein anerkannte Regeln, die den verbindlichen Regeln folgen und diese auch erfüllen.

Von den Anwendungsregeln darf nur dann abgewichen werden, wenn die Gleichwertigkeit der alternativ verwendeten Lösung nachgewiesen wird. Das oftmals verwendete modale Hilfsverb 'sollte' ist somit verbindlicher als es den Anschein haben mag. Da davon ausgegangen werden kann, daß die Anwendungsregeln des EC5 auch in der Praxis eingesetzt werden, wird auch in dieser Informationsschrift die Bemessung nach dem EC5 ausschließlich auf der Grundlage der dort vorgeschlagenen Anwendungsregeln vorgestellt.

2.1.2 Begriffe, Abkürzungen und Symbole

Die in dieser Folge verwendeten Begriffe, Abkürzungen und Symbole sind auf der Rückseite dieses Heftes zusammengestellt.

2.2 Einführung in das neue Sicherheitskonzept

2.2.1 Teilsicherheitsbeiwerte

Nach dem EC5 muß ein Tragwerk so bemessen und ausgeführt sein, daß es zum einen die geforderten Gebrauchseigenschaften mit annehmbarer Wahrscheinlichkeit behält, und zum anderen den Einwirkungen und Einflüssen, die während seiner Ausführung und seiner Nutzung auftreten können, mit angemessener Zuverlässigkeit standhält.

Die Ausdrücke 'Wahrscheinlichkeit' und 'Zuverlässigkeit' vermitteln den Eindruck, daß die Bemessung und Beurteilung von Bauwerken mit Unsicherheiten verbunden ist. In der Tat bestehen solche 'Unsicherheiten', da man z.B. nicht mit Sicherheit voraussagen kann, welche Belastungen auftreten werden, und wie hoch die Beanspruchbarkeit eines Bauteiles oder einer Verbindung tatsächlich ist. Die bei einer Bemessung zugrundegelegten Regelungen können somit nur Vereinbarungen sein, die dazu beitragen, das verbleibende Risiko auf ein vertretbares Maß zu senken und ein vereinbartes globales Sicherheitsniveau zu erreichen.

Bei den traditionellen und derzeit noch gültigen DIN-Bemessungsnormen wurden alle Einflüsse auf die Zuverlässigkeit der Baukonstruktionen durch globale Sicherheitsfaktoren berücksichtigt, mit deren Hilfe die zulässigen Spannungen festgelegt wurden. Je nach Lastfall (H, HZ) und Einsatzbereich (innen/außen) werden diese zulässigen Spannungen dann noch modifiziert.

Das neue Bemessungskonzept der Eurocodes bedient sich der Teilsicherheitsbeiwerte, mit deren Hilfe es möglich ist, die Unsicherheiten bei den Annahmen der Einwirkungen und Material-

eigenschaften, sowie die Einflüsse von verschiedenen Lastkombinationen, der Dauer der Beanspruchungen und des Umgebungsklimas jeweils getrennt zu betrachten. Auch wird die Tatsache, daß sowohl die Einwirkungen als auch die Beanspruchbarkeit (Widerstand) der Baustoffe statistischen Verteilungen folgen, explizit berücksichtigt.

Das geforderte gesamte Sicherheitsniveau ergibt sich hier durch die Zusammenfassung der einzelnen Teilaspekte, wobei in etwa das gleiche Sicherheitsniveau wie in der Normenreihe DIN 1052 sichergestellt wird.

Zwischen der charakteristischen Einwirkung S_k (Abschn. 2.3.2) und dem charakteristischen Widerstand R_k (Abschn. 2.4.2) muß ein bestimmter Abstand sichergestellt werden, wobei sich der globale Sicherheitsfaktor γ_{global} aus dem Verhältnis der beiden charakteristischen Werte ergibt (vgl. Bild 2.1).

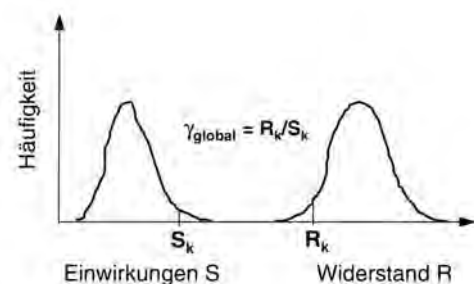


Bild 2.1 Darstellung der globalen Sicherheit γ_{global}

Das neue Bemessungskonzept ist für alle Baustoffe anwendbar und ermöglicht so auch eine Harmonisierung zwischen den verschiedenen Baustoffen.

2.2.2 Grenzzustände

Die Eurocodes unterscheiden zwischen den nachfolgend genannten Grenzzuständen:

Grenzzustände der Tragfähigkeit

Dies sind Zustände, die die Sicherheit von Menschen gefährden können, wie z.B. Verlust des Gleichgewichts oder der Stabilität eines Tragwerkes bzw. eines seiner Teile.

Beim Nachweis eines Grenzzustandes der Tragfähigkeit ist folgende Bedingung zu erfüllen:

$$S_d \leq R_d \quad (2.1)$$

Hierbei entsprechen:

- S_d dem Bemessungswert der Beanspruchung (z.B. Spannung) aus einer Einwirkung oder einer Kombination von Einwirkungen und
- R_d dem Bemessungswert der Beanspruchbarkeit (Baustoffwiderstand)

Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit

Dies sind Zustände, bei denen die Bedingungen für die Gebrauchstauglichkeit nicht mehr erfüllt sind. Dies ist z.B. dann der Fall, wenn zu große Verformungen und Durchbiegungen zu Schäden führen können, oder wenn Schwingungen Unbehagen beim Menschen verursachen.

Beim Nachweis eines Grenzzustandes der Gebrauchstauglichkeit ist folgende Bedingung zu erfüllen:

$$E_d \leq C_d \quad (2.2)$$

Hierbei entsprechen:

- E_d dem Bemessungswert der Lastauswirkungen (z.B. Durchbiegung), und
- C_d einem maßgebenden und einzuhaltenden Nennwert (z.B. Grenzwert der Durchbiegung).

2.3 Einwirkungen, Beanspruchungen

2.3.1 Allgemeines

Es ist vorgesehen, die Einwirkungen baustoffübergreifend im zuständigen Eurocode 1 zu regeln. Da die Arbeiten hierzu jedoch noch nicht abgeschlossen sind, wurden zur Ermöglichung der geplanten Erprobungsphase der Eurocodes die bereits vorliegenden Regelungen in jeweils einem Abschnitt der Eurocodes aufgenommen. Bei den endgültigen Fassungen dieser Eurocodes sollen diese Regelungen jedoch nicht mehr enthalten sein.

Die Abschnitte über Einwirkungen sind in allen Eurocodes identisch. Ausnahme hiervon bildet die in Abschn. 2.3.5 beschriebene notwendige Einteilung von Lasten in Klassen der Lasteinwirkungsdauer.

Die Eurocodes unterscheiden zwei Arten von Einwirkungen:

- Kräfte (Lasten), die auf ein Tragwerk einwirken (direkte Einwirkung), und
- Zwängungen, z.B. infolge von Temperatureinwirkung, Quellen oder Setzungen (indirekte Einwirkungen).

Bezüglich ihrer zeitlichen Veränderlichkeit wird unterschieden zwischen

- ständigen Einwirkungen (G), wie z.B. Eigenlasten,
- veränderlichen Einwirkungen (Q), wie z.B. Nutz-, Verkehrs-, Schnee- und Windlasten, und
- außergewöhnliche Einwirkungen (A), wie z.B. Erdbeben oder Anprall von Fahrzeugen.

Die außergewöhnlichen Einwirkungen werden in der vorliegenden Folge nicht weiter behandelt, es wird auf Eurocode 5 T1-1 verwiesen.

2.3.2 Charakteristische Werte der Einwirkungen

Als charakteristische Werte der Einwirkungen sind Werte zu verstehen, die mit einer vereinbarten Wahrscheinlichkeit während der angenommenen Nutzungsdauer des Bauwerkes nicht überschritten werden. Im NAD ist festgelegt, daß als charakteristische Werte der Einwirkungen (G_k , Q_k) grundsätzlich die Werte der DIN-Normen, insbesondere der Normenreihe DIN 1055, und ggf. der bauaufsichtlichen Ergänzungen und Richtlinien gelten.

Dies bedeutet, daß die Lasten nach der Normenreihe DIN 1055 als charakteristische Werte angesehen werden können.

Für Einwirkungen, die nicht oder nicht vollständig in Normen oder anderen bauaufsichtlichen Bestimmungen angegeben

sind, müssen die charakteristischen Werte in Absprache mit der zuständigen obersten Bauaufsichtsbehörde festgelegt werden.

2.3.3 Bemessungswerte der Einwirkungen, Teilsicherheitsbeiwerte γ_F

Um das vereinbarte Sicherheitsniveau zu erreichen, werden die charakteristischen Werte der Einwirkungen mit zugehörigen Teilsicherheitsbeiwerten γ_F multipliziert. Man spricht dann von den Bemessungswerten (G_d , Q_d) der Einwirkungen:

$$G_d = \gamma_G G_k \quad (2.3a)$$

$$Q_d = \gamma_Q Q_k \quad (2.3b)$$

Teilsicherheitsbeiwerte γ_G , $\gamma_Q \Rightarrow$ Tabelle A.1

Aus Tabelle A.1 geht hervor, daß beim Nachweis der Gebrauchstauglichkeit nicht mit erhöhten Werten der Einwirkungen gerechnet zu werden braucht (d.h. $\gamma_{G,Q} = 1$). Dies wird damit begründet, daß die Beeinträchtigung der Gebrauchstauglichkeit meist nur wirtschaftliche Folgen nach sich zieht, während der Verlust der Tragfähigkeit die Sicherheit von Leben und Gesundheit gefährdet.

Nach dem NAD dürfen die im EC5 vorgesehenen reduzierten Teilsicherheitsbeiwerte bei untergeordneten Bauwerken nicht angewendet werden.

Für den Fall von ständigen Einwirkungen, die sich während der Nutzungsdauer ändern können (z.B. bei Umnutzung) oder in weiten Grenzen schwanken, wird auf EC5 Abschnitt 2.2.2.4 P(3) verwiesen.

2.3.4 Bemessungswerte der Beanspruchungen; Kombinationsbeiwerte ψ

Die nachfolgend beschriebenen Kombinationsregeln und die Kombinationsbeiwerte ψ sind in allen Eurocodes identisch und gelten somit baustoffübergreifend.

Kombinationsbeiwerte $\psi \Rightarrow$ Tabelle A.2

Die Bemessung eines Tragwerksteiles erfolgt auf der Grundlage von Schnittgrößen, die sich aus den verschiedenen Lastfällen (z.B. Eigenlast, Schnee, Wind, Nutzlast) ergeben. Die maßgebenden Beanspruchungen (z.B. Spannungen) und Lastauswirkungen (z.B. Durchbiegungen) ergeben sich dabei aus der Betrachtung verschiedener Lastfallkombinationen.

Da es statistisch gesehen unwahrscheinlich ist, daß alle Einwirkungen zur gleichen Zeit und mit ihren vollen charakteristischen Werten auftreten, bieten die Eurocodes zur Ermittlung der Beanspruchungen sogenannte Kombinationsbeiwerte ψ an, mit deren Hilfe die Einwirkungen bzw. die daraus resultierenden Schnittgrößen gegebenenfalls reduziert werden können.

Aus Tabelle A.2 geht hervor, daß die Beiwerte ψ_1 , die beim Nachweis der Gebrauchstauglichkeit zum Einsatz kommen, z.T. deutlich geringer sind als die beim Tragfähigkeitsnachweis einzusetzenden Beiwerte ψ_0 . Dies ist wiederum mit den unterschiedlichen Schadensfolgen der beiden Grenzzustände zu begründen.

Kombinationsregeln \Rightarrow Tabelle A.3

Die Regeln zur Anwendung der Kombinationsbeiwerte gelten auch für das gleichzeitige Auftreten von Wind- und Schneelasten. Die in DIN 1055 Teil 5 für diesen Fall vorgesehenen Regelungen ($s+w/2$ bzw. $w+s/2$) entfallen hier somit.

Aus *Tabelle A.3* geht hervor, daß bei der Anwendung der **Grundregel**

$$\gamma_G G_k + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i \geq 2} \psi_{0,i} \gamma_{Q,i} Q_{k,i}$$

eine Reduzierung der Einwirkungen im Regelfall erst ab der zweiten veränderlichen Einwirkung möglich ist. Dies bedeutet, daß neben der Eigenlast immer mindestens eine veränderliche Einwirkung in voller Größe zu berücksichtigen ist.

Weiterhin ist ersichtlich, daß in den Eurocodes beim Nachweis der Tragfähigkeit neben der Grundregel auch zwei vereinfachte Kombinationsregeln vorgesehen sind:

$$\gamma_G G_k + 1,5 Q_{k,1} \quad (1. \text{ vereinfachte Grundregel})$$

und

$$\gamma_G G_k + 1,35 \sum Q_{k,i} \quad (2. \text{ vereinfachte Grundregel})$$

Hierbei wird diejenige maßgebend, welche die ungünstigeren Werte liefert.

Tritt nur eine veränderliche Einwirkung auf, so ist die erste vereinfachte Regel mit der Grundregel identisch, weil γ_Q im Regelfall gleich 1,5 ist, und der Anteil der weiteren Lasten entfällt. In diesem Fall entfällt auch die zweite vereinfachte Grundregel, weil diese kleinere Werte für die Beanspruchung ergibt.

Treten mehrere veränderliche Einwirkungen auf, so wird die erste vereinfachte Regel nur dann maßgebend, wenn die Schnittgröße der größten veränderlichen Einwirkung $Q_{k,1}$ die Schnittgrößen der übrigen veränderlichen Einwirkungen bei weitem überwiegt: erst ab einem Verhältnis $Q_{k,1}/Q_{k,Rest} > 5$ kommt die erste vereinfachte Regel zum Tragen, wobei $Q_{k,Rest}$ der Summe der übrigen veränderlichen Einwirkungen entspricht.

Ob nun die Grundregel oder die (zweite) vereinfachte Regel wirtschaftlichere Werte liefert, hängt zum einen vom Verhältnis der veränderlichen Einwirkungen $Q_{k,1}/Q_{k,Rest}$ und zum anderen von den zugehörigen Kombinationsbeiwerten ψ ab. In *Bild 2.2* ist das Verhältnis zwischen den Bemessungswerten der Schnittgrößen aus vereinfachter Kombinationsregel ($\sum Q_{d,vereinfacht}$) und aus Grundregel ($\sum Q_{d,Grund}$) in Abhängigkeit von diesen Parametern dargestellt. Hierbei wurden die Kombinationsbeiwerte ψ für die veränderlichen Einwirkungen vereinfacht als konstant angenommen ($\psi = 0,6$ und $\psi = 0,7$)

Aus diesem Bild ist folgendes zu erkennen:

- Die zweite vereinfachte Regel liefert nur dann kleinere Werte für die Schnittgrößen ($\sum Q_{d,vereinfacht} / \sum Q_{d,Grund} < 1$), wenn es eine 'dominierende' Einwirkung gibt, deren Schnittgrößen $Q_{k,1}$ mindestens 2 bis 3mal so groß sind, wie die Summe $Q_{k,Rest}$ der übrigen veränderlichen Einwirkungen ($Q_{k,1}/Q_{k,Rest} > 2$ bis 3). Die Unterschiede betragen jedoch nur wenige %.
- Liegt keine 'dominierende' veränderliche Einwirkung vor, so ergeben sich auf der Grundlage der zweiten vereinfachten Kombinationsregel z.T. deutlich höhere Schnittgrößen.

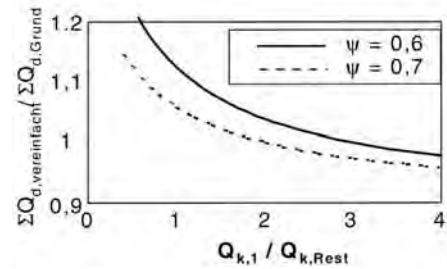


Bild 2.2 Gegenüberstellung der Schnittgrößen infolge veränderlicher Einwirkungen aus zweiter vereinfachter Regel ($\sum Q_{d,vereinfacht}$) und Grundregel ($\sum Q_{d,Grund}$); $Q_{k,1}$ = erste veränderliche Einwirkung, $Q_{k,Rest}$ = Summe der übrigen Einwirkungen

Im Regelfall 'lohnt' sich also der etwas größere Aufwand für die Anwendung der Grundregel.

Da darüber hinaus beim Nachweis der Gebrauchstauglichkeit (z.B. Durchbiegungsnachweis) in jedem Fall eine detailliertere Kombinationsregel anzusetzen ist, stellen die für den Tragfähigkeitsnachweis vorgesehenen vereinfachten Regeln nur eine vermeintliche Erleichterung dar.

In der vorliegenden Informationsschrift werden daher die vereinfachten Kombinationsregeln nicht weiter behandelt.

Für die praktische Anwendung der Kombinationsregel wird dabei empfohlen, zunächst die Teil-Schnittgrößen getrennt für jeden Lastfall auf der Grundlage der charakteristischen Einwirkungen nach der Normenreihe DIN 1055 zu berechnen (d.h. ohne γ - und ψ -Werte), und die Kombinationsregeln erst später beim entsprechenden Nachweis anzuwenden.

Die Schnittgrößen, die sich auf der Grundlage der Lasten nach DIN 1055 ergeben, werden im folgenden auch als 'Basis-Schnittgrößen' (BSG) bezeichnet.

2.3.5 Klassen der Lasteinwirkungsdauer

Die Festigkeits- und Steifigkeitseigenschaften von Produkten aus Holz und Holzwerkstoffen werden beeinflusst von der Dauer der Beanspruchung und vom Umgebungsklima. Dieses Verhalten stellt eine Besonderheit des natürlichen Rohstoffes Holz dar und wird im EC5 durch die Festlegung von sogenannten Klassen der Lasteinwirkungsdauer berücksichtigt. Auf der Grundlage dieser Klassen ist es möglich, die Bauteilwiderstände entsprechend zu modifizieren (siehe hierzu Abschnitt 2.4.6).

Klassen der Lasteinwirkungsdauer \Rightarrow Tabelle A.4 und A.5

Zum besseren Verständnis dieser Klasseneinteilung erscheinen folgende Hinweise nützlich:

- Die angegebenen Werte für die Lasteinwirkungsdauer entsprechen nicht dem Zeitraum, über den die Einwirkungen während der Nutzungsdauer des Gebäudes insgesamt wirken. Sie sind vielmehr als Summe aller Zeitspannen zu verstehen, während derer die Lasten mit mindestens ihren vollen charakteristischen Werten auftreten (siehe Bild 2.3). Dies erklärt, warum z.B. Schnee teilweise als kurzfristig wirkende Last eingestuft wird, obwohl Schnee in vielen Gegenden über einen deutlich längeren Zeitraum liegen bleibt.
- Einziges Ziel dieser Klasseneinteilung ist es, den Einfluß der Lasteinwirkungsdauer auf die Materialeigenschaften holzhaltiger Produkte zu erfassen. Die hier angegebenen

Zeiträume sind somit weniger unter dem Aspekt der Einwirkungen selbst, als vielmehr im Sinne deren Auswirkungen auf die Baustoffeigenschaften zu betrachten. Die Frage, über welchen Zeitraum genau eine Einwirkung wirkt, ist dabei nicht von Bedeutung.

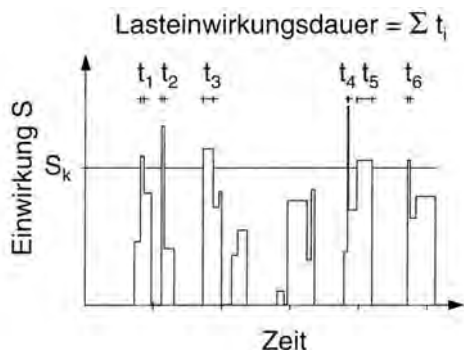


Bild 2.3 Lasteinwirkungsdauer (S_k = charakteristische Einwirkung)

Sind bei der Bemessung mehrere Lasten mit unterschiedlichen Einwirkungsdauern zu berücksichtigen (z. B. ständige Last und Schnee), so darf beim Nachweis der Tragfähigkeit die Klasse mit der kürzesten Lasteinwirkungsdauer zugrunde gelegt werden (vgl. Abschnitt 2.4.6).

2.3.6 Maßgebende Lastfallkombinationen

Der betragsmäßig größte Bemessungswert der Beanspruchung bzw. der Schnittgrößen ergibt sich grundsätzlich dann, wenn alle ungünstigen Einwirkungen in einer Lastfallkombination zusammengefaßt werden. Für die Anwendung der Kombinationsbeiwerte ψ zu den Teil-Schnittgrößen der einzelnen Lastfälle gilt dabei folgende Regel:

Der größte Bemessungswert der Beanspruchung bzw. der Schnittgrößen ergibt sich, wenn diejenige Teil-Schnittgröße voll (d.h. mit $\psi = 1$) angesetzt wird/deren Produkt $Q_1 (1-\psi)$ am größten ist. Q_1 entspricht hierbei der Teil-Schnittgröße und ψ dem zugehörigen Kombinationsbeiwert.

Eine Berechnung dieses Produktes ist jedoch nur dann erforderlich, wenn etwa gleich große Teil-Schnittgrößen mit unterschiedlichen ψ -Werten vorliegen. Liegt hingegen eine 'dominierende' Einwirkung vor, deren Schnittgröße die übrigen Teil-Schnittgrößen deutlich übersteigt, so kann diese Teil-Schnittgröße ohne Überprüfung voll angesetzt werden.

Wie in Abschn. 2.3.5 bereits beschrieben, ist bei der Bemessung von Holzkonstruktionen der Einfluß der Lasteinwirkungsdauer zu berücksichtigen. Während beim Nachweis der Gebrauchstauglichkeit die Dauer jeder Einwirkung explizit berücksichtigt wird, darf beim Nachweis der Tragfähigkeit die kürzeste Lasteinwirkungsdauer der berücksichtigten Einwirkungen zugrundegelegt werden. Da aber die Beanspruchbarkeit eines Baustoffes oder einer Verbindung mit zunehmender Lasteinwirkungsdauer abnimmt (Langzeitverhalten), ist es durchaus möglich, daß eine Lastfallkombination maßgebend wird, die betragsmäßig zwar kleinere Beanspruchungen liefert, die aber aufgrund der größeren Lasteinwirkungsdauer ungünstiger ist.

Dies bedeutet, daß die erforderlichen Tragfähigkeitsnachweise grundsätzlich für alle Lastfallkombinationen zu führen sind.

Ausgenommen hiervon sind jedoch Fälle, bei denen die maßgebende Lastfallkombination eindeutig ist. So wird z.B. bei glei-

chen maßgebenden Klassen der Lasteinwirkungsdauer (und somit auch gleichem k_{mod}) stets die Lastfallkombination maßgebend werden, welche die größeren Schnittgrößen bewirkt.

2.4 Baustoffeigenschaften

2.4.1 Allgemeines

Die in der Normenreihe DIN 1052 aufgeführten Baustoffeigenschaften (zulässige Spannungen und Steifigkeitswerte) entsprechen ursprünglich Erfahrungswerten, die im wesentlichen durch Beobachtung des Verhaltens von ausgeführten Bauwerken abgeschätzt und im weiteren Verlauf fortgeschrieben wurden. Bei der Festlegung von zulässigen Werten kamen darüber hinaus unterschiedliche Betrachtungsweisen zur Anwendung, so daß kein einheitlicher Zusammenhang zwischen den zulässigen Spannungen und den tatsächlichen Festigkeitseigenschaften besteht.

Im EC5 hingegen werden die Baustoffeigenschaften durch sog. charakteristische Werte beschrieben (siehe Abschn. 2.4.2), die alle auf der Grundlage von genormten Prüfungen zu bestimmen sind. Die so definierten Baustoffeigenschaften sind somit vergleichbar und auch nachvollziehbar.

Nun gibt es in Europa eine kaum überschaubare Vielzahl von Holzarten und Sortiervorschriften, die im Bauwesen zum Einsatz kommen. Da es aber im Sinne der Erleichterung des Handels von Bauprodukten innerhalb Europas nicht das Ziel sein konnte, diese ganze Vielfalt unverändert in die europäischen Normen zu übernehmen, wurde ein anderer Weg beschritten. Im Rahmen der Harmonisierung der europäischen Baubestimmungen wurden vielmehr für die verschiedenen Baustoffe jeweils eine Reihe von Festigkeitsklassen (sog. 'Schubladen') vereinbart, in die die jeweils national geregelten Baustoffe einzuordnen sind. Hierdurch ergibt sich eine deutlich reduzierte und besser überschaubare Produktpalette.

Aber selbst diese reduzierte Vielfalt wird nicht vollständig in den einzelnen Ländern zur Anwendung kommen, da man dort nach wie vor auf die national gebräuchlichen Klassen zurückgreifen wird. Für das normale (inländische) Tagesgeschäft wird sich somit in der Praxis kaum etwas ändern. Für den Handel mit dem Ausland hingegen, ergeben sich spürbare Erleichterungen, da man nun eine gemeinsame Basis hat und auch eine einheitliche Sprache spricht.

Nach dem EC5 dürfen für tragende und aussteifende Zwecke Vollholz, Brettschichtholz, Sperrholz, Spanplatten einschl. OSB-Platten und Faserplatten eingesetzt werden. Die Anforderungen an diese Baustoffe sind in europäischen Normen geregelt, so daß diese Baustoffe auch als genormte Baustoffe bezeichnet werden. Für die in Deutschland genormten und eingesetzten Materialien sind die zugehörigen Materialkennwerte im NAD geregelt (vgl. Abschn. 2.4.2).

Neue, innovative Baustoffe hingegen, wie z.B. Furnierschichtholz, für die noch keine Normen vorliegen, und die somit im Rahmen von bauaufsichtlichen Zulassungen geregelt sind, können nur über eine sogenannte Europäische Technische Zulassung in Verkehr gebracht werden. Hier sind die Herstellerfirmen gefordert, eine Ergänzung ihrer derzeitigen Zulassungen hinsichtlich der Anpassung an die europäischen Anforderungen zu bewirken. Dies gilt – zumindest in Deutschland – auch für die OSB-Platten.

2.4.2 Charakteristische Werte

Holz ist ein natürlicher Werkstoff, dessen Eigenschaften (wie z.B. Festigkeit und Steifigkeit) durch die gegebenen Wuchs-unregelmäßigkeiten z.T. große Streuungen aufweisen. Bedingt durch diese Streuung gibt es keinen konstanten Wert für die Festigkeit oder den Elastizitätsmodul, sondern die Materialeigenschaften folgen einer sog. statistischen Verteilung (siehe Bild 2.4).

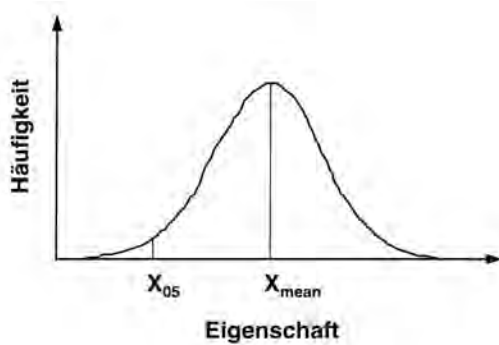


Bild 2.4 Verteilung von Eigenschaften (5%-Fraktile X_{05} und Mittelwert X_{mean})

Da es aber zweckmäßig ist, bei der Bemessung feste Rechenwerte und keine statistischen Verteilungen zu verwenden, gilt es, die streuenden Eigenschaften in geeigneter Weise zu charakterisieren. Im Rahmen der europäischen Normen erfolgt dies über die sogenannten charakteristischen Werte, wobei man im wesentlichen zwischen zwei verschiedenen Werten unterscheidet:

- Die 5%-Fraktile X_{05} entspricht dem Wert der statistischen Verteilung, von dem angenommen wird, daß er nur in 5% aller Fälle unterschritten wird. Die 5%-Fraktile entspricht somit einem Anhaltswert für den unteren Grenzwert einer Eigenschaft, der mit 95%-iger Wahrscheinlichkeit nicht unterschritten wird.
- Der Mittelwert X_{mean} einer statistischen Verteilung entspricht dem Wert, der im Mittel von allen Prüfkörpern erreicht wird. Bei einer symmetrischen Verteilung wird dieser Wert in jeweils der Hälfte aller Fälle unter- bzw. überschritten.

Die Verwendung der genannten charakteristischen Werte ist in *Tabelle 2.1* zusammengefaßt.

Da im EC5 keine Angaben über die charakteristischen Eigenschaftswerte von Baustoffen gemacht werden, basieren die nachfolgenden Ausführungen und Erläuterungen vorwiegend auf den Bestimmungen des NAD.

Tabelle 2.1 Verwendung von charakteristischen Werten der Baustoffeigenschaften bei der Bemessung

Bemessungssituation	char. Wert
Grenzzustände der Tragfähigkeit Festigkeitswerte Steifigkeitswerte Rohdichte	5%-Fraktile
Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit Steifigkeitswerte Rohdichte	Mittelwert 5%-Fraktile

Vollholz (VH)

Charakteristische Werte ⇒ Tabelle A.6

Nach dem NAD muß Bauholz nach DIN 4074 Teil 1 oder Teil 2 sortiert werden und ist nach den dort festgelegten Sortierklassen zu klassifizieren. Tragende einteilige Einzelquerschnitte von Vollholzbauteilen müssen eine Mindestdicke von 24 mm und mindestens 14 cm² Querschnittsfläche (11 cm² für Lattungen) haben, soweit nicht wegen der Verbindungsmittel größere Mindestmaße erforderlich sind.

Die in Tabelle A.6 angegebenen MS-Klassen entsprechen hierbei den Sortierklassen für maschinell sortiertes Holz.

Der Tragwerksplaner sollte sich jedoch vergewissern, daß maschinell sortiertes Holz verfügbar ist, bevor er die zugehörigen Materialkennwerte bei der Bemessung anwendet.

Aus Tabelle A.6 ist zu erkennen, daß mit steigender Sortierklasse nicht nur mit höheren Festigkeiten gerechnet werden darf, sondern erstmals auch mit höheren Steifigkeitswerten. Dies wirkt sich günstig auf die Verformungsnachweise aus. Die ebenfalls ansteigenden Rohdichtekennwerte bewirken, daß bei höheren Sortierklassen auch mit höheren Werten für die Tragfähigkeit der Verbindungsmittel gerechnet werden darf (siehe hierzu auch Abschn. 5).

Die angegebenen charakteristischen Festigkeitswerte gelten abweichend vom EC5, Abschnitt 3.2.2 (5) für Bauholz mit beliebigen Abmessungen. Dies bedeutet, daß der im EC5 vorgesehene 'Volumeneffekt' – d.h. die Abnahme der Festigkeit mit zunehmender Bauteilgröße – nicht zu berücksichtigen ist (d.h. $k_h = 1$). Diese Abweichung vom EC5 wird mit der in Mitteleuropa üblichen Einschnittpraxis begründet, die einem möglicherweise vorhandenen Volumeneffekt entgegenwirkt.

Werden zur Verbindung von Vollholzbauteilen Keilzinkungen eingesetzt, so sind diese nach DIN 68 140 auszuführen.

Brettschichtholz (BSH)

Trägeraufbauten und charakteristische Werte
⇒ Tabellen A.7 und A.8

Die wohl durchgreifendsten Änderungen werden sich künftig für die Brettschichtholzbauweise ergeben, die am schnellsten die Forschungs- und Entwicklungsergebnisse aus dem Bereich der maschinellen Holzsortierung umsetzen konnte. Dies wurde durch die kleineren Abmessungen (Dicke) der Brett lamellen und dem damit verbundenen geringeren Aufwand bei den Sortiermaschinen begünstigt. Die Verwendung von maschinell sortierten Lamellen hat die Schaffung von neuen Brettschichtholzklassen ermöglicht, deren Materialeigenschaften zum Teil deutlich über denen der bislang höchsten Güteklasse I liegen.

Bei der bisherigen Bemessung nach DIN 1052 Teil 1 konnten zwei Brettschichtholz-Güteklassen mit unterschiedlichen zulässigen Spannungen angesetzt werden. Der Elastizitätsmodul hingegen wurde für beide Klassen gleich angesetzt. Diese Regelung erschien auch gerechtfertigt, weil bei der traditionell praktizierten visuellen Holzsortierung der Elastizitätsmodul gar nicht zuverlässig bestimmt werden kann. Die Spannungsbeurteilung konnte daher auch wie bei einem homogenen Material erfolgen, auch wenn wie im Falle von Trägern der Güteklasse I Lamellen unterschiedlicher Sortierklassen zum Einsatz kamen.

In der Ergänzung A 1 zu DIN 1052 Teil 1 erfolgte eine Anpassung an die neuen Sortierklassen der DIN 4074 Teil 1, so daß eine größere Auswahl an Lamellen Sortierklassen zur Verfügung steht. Insbesondere durch die maschinellen Sortierklassen (MS) eröffnen sich neue Möglichkeiten.

Hiermit verbunden ist aber auch eine wesentliche Änderung, die sich auf die Bemessung von Brettschichtholzträgern auswirkt. Da nämlich für jede Sortierklasse ein anderer Rechenwert für den Elastizitätsmodul anzusetzen ist, sind Brettschichtholzträger prinzipiell wie Verbundträger zu behandeln und nach der Theorie der Verbundquerschnitte zu bemessen.

Um jedoch den Bemessungsaufwand nicht unnötig zu vergrößern, wurden im NAD in Anlehnung an DIN 1052 Teil 1 A1 insgesamt vier Festigkeitsklassen definiert, die an bestimmte 'Standard'-Lamellenaufbauten gekoppelt sind. So aufgebaute Brettschichtholzträger können dann – wie bisher auch – wie homogene Träger bemessen werden, weil der Einfluß der unterschiedlichen Lamelleneigenschaften bereits bei der Erstellung der Eigenschaftsprofile berücksichtigt wurde. Die in den Tabellen A.7 und A.8 angegebenen Bezeichnungen 'BS' für die Brettschichtholzklassen stimmen hierbei mit derjenigen der DIN 1052 Teil 1 A1 überein.

Aus Tabelle A.7 ist ersichtlich, daß erstmals zwischen kombiniertem und homogenem Brettschichtholz unterschieden wird. Diese Trennung ermöglicht die Anwendung von höheren Materialkennwerten in Fällen, bei denen Brettschichtholz mit nur einer Lamellen Sortierklasse zum Einsatz kommt, wie z.B. bei Fachwerkstäben.

In der Praxis besteht jedoch sowohl der Wunsch als auch der Bedarf nach abweichenden Lamellenaufbauten. Diese Möglichkeit wird im NAD ausdrücklich gestattet, sie wird jedoch mit einigen Anforderungen an die Bemessung solcher Träger verknüpft. Für diese Träger mit abweichenden Trägeraufbauten muß auf das NAD verwiesen werden.

Die in Tabelle A.7 angegebenen Festigkeitswerte gelten dabei für Brettschichtholz mit beliebigen Abmessungen. Nach dem NAD darf somit die im EC5 vorgesehene Berücksichtigung der Trägerhöhe bei der Bemessung ('Höheneffekt') nicht in Ansatz gebracht werden.

Ähnlich wie beim Vollholz muß auch beim Brettschichtholz die Verfügbarkeit von maschinell sortiertem Holz abgefragt werden, da der Einsatz von Sortiermaschinen derzeit noch auf einige wenige Leimbautriebe beschränkt ist.

Darüber hinaus ist die Herstellung von Brettschichtholz der Klassen BS 14, BS 16 und BS 18 an die Erfüllung von Mindestanforderungen hinsichtlich der Keilzinkenqualität gebunden, so daß die Leimbautriebe über einen entsprechenden Eignungsnachweis verfügen müssen.

Werden Brettschichtholzbauteile über die gesamte Trägerhöhe voll gestoßen, so sind die Universal-Keilzinkenstöße nach DIN 68 140 auszuführen. Die an der Stoßstelle vorhandene Querschnittsschwächung ist durch eine 20%-ige Abminderung der jeweiligen charakteristischen Festigkeitswerte zu berücksichtigen. Zur Berücksichtigung der im Keilzinkenbereich auftretenden Äste dürfen darüberhinaus für die Klassen BS 14, BS 16 und BS 18 nur die Werte der nächst niedrigeren Festigkeitsklasse zugrundegelegt werden. Die Nachweise sollten dabei – wie bisher auch – mit den Schnittgrößen in der Ecke in einem

Schnitt rechtwinklig zur Stabachse geführt werden, auch wenn dieser Schnitt nicht dem Keilzinkenstoß folgt.

Universal-Keilzinkenverbindungen dürfen jedoch nicht für Brettschichtholz in Nutzungsklasse 3 verwendet werden, wenn sich die Faserrichtung innerhalb der Verbindung ändert.

Sperrholz (BFU)

Einsatzmöglichkeiten und charakteristische Werte
⇒ Tabellen A.9, A.10 und A.11

Bau-Furniersperrholz muß die Anforderungen nach DIN 68 705 Teil 3 bzw. Teil 5 (Buche) erfüllen.

Die Einsatzmöglichkeiten von Sperrholz sind dabei – wie bei den anderen Holzwerkstoffen auch – abhängig von der Feuchtebeständigkeit der verschiedenen Plattentypen.

Spanplatten (FP)

Einsatzmöglichkeiten und charakteristische Werte
⇒ Tabellen A.12 und A.13

Flachpreßplatten müssen die Anforderungen nach DIN 68 763 erfüllen.

Faserplatten (HF)

Einsatzmöglichkeiten und charakteristische Werte
⇒ Tabellen A. 14 und A. 15

Holzfaserverplatten müssen die Anforderungen nach DIN 68 754 Teil 1 erfüllen.

2.4.3 Nutzungsklassen

Nutzungsklassen ⇒ Tabelle A.16

Während der Nutzung der Gebäude stellt sich im Holz eine Gleichgewichtsfeuchte ein, die von den umgebenden Klimabedingungen abhängig ist. Da die Holzfeuchte einen nicht geringen Einfluß auf die Baustoffeigenschaften ausübt, muß sie bei der Bemessung berücksichtigt werden. Hierzu wurden im EC5 die in *Tabelle 2.2* angegebenen Nutzungsklassen definiert. Beispiele zu den Nutzungsklassen sind in Tabelle A.16 angegeben.

Tabelle 2.2 Nutzungsklassen

Nutzungsklasse	Gleichgewichtsfeuchte u des Holzes
1	$u \leq 12\%$
2	$u \leq 20\%$
3	$u > 20\%$

Die Nutzungsklasse wird gemeinsam mit der Klasse der Lasteinwirkungsdauer zur Ermittlung des Modifikationsbeiwertes K_{mod} und des Deformationsbeiwertes K_{def} (vgl. Abschn. 2.4.6) benötigt.

2.4.4 Bemessungswerte der Baustoffeigenschaften

Ähnlich wie bei den Einwirkungen können auch bei den Baustoffeigenschaften die charakteristischen Werte nicht unmodifiziert bei der Bemessung angewendet werden. So gilt es, z.B. etwaige Unsicherheiten bei der Ermittlung der charakteristischen Werte abzudecken. Darüber hinaus gelten die in Prüfungen ermittelten charakteristischen Baustoffeigenschaften grundsätzlich nur für ein Bezugsklima mit einer Temperatur von 20 °C und einer relativen Luftfeuchte von 65% sowie einer Belastungsdauer von 5 min., so daß abweichende Bedingungen bei der Bemessung zu berücksichtigen sind.

Die bei der Bemessung einzusetzenden Baustoffeigenschaften (X_d) ergeben sich daher durch folgende Modifikationen der charakteristischen Werte (X_k):

$$X_d = k_{mod} X_k / \gamma_M \quad (2.4)$$

Hierbei entspricht

γ_M einem Teilsicherheitsbeiwert, und
 k_{mod} einem modifizierenden Faktor, der den Einfluß der Lasteinwirkungsdauer und der Holzfeuchte auf die Baustoffeigenschaften berücksichtigt.

Diese beiden Faktoren werden in den nachfolgenden Abschnitten erläutert.

2.4.5 Teilsicherheitsbeiwerte γ_M

Teilsicherheitsbeiwerte γ_M
⇒ Tabelle A.17

Aus Tabelle A.17 geht hervor, daß beim Nachweis der Gebrauchstauglichkeit die charakteristischen Werte der Baustoffeigenschaften nicht abgemindert werden müssen. So darf z.B. der mittlere Elastizitätsmodul als voller Rechenwert verwendet werden.

2.4.6 Einfluß der Lasteinwirkungsdauer und der Nutzungs-kategorie; k_{mod} - und k_{def} -Werte

k_{mod} - und k_{def} -Werte
⇒ Tabellen A.18 und A.19

Der EC5 sieht zur Berücksichtigung der Belastungszeit und des Umgebungsklimas zwei prinzipielle Vorgehensweisen vor (vgl. Tabelle 2.3):

- Beim **Nachweis der Tragfähigkeit** werden die Baustoffeigenschaften direkt mit einem Faktor k_{mod} nach Tabelle A.18 modifiziert. Dies gilt sowohl für die Festigkeitseigenschaften als auch für die Steifigkeitskennwerte (z.B. bei Nachweisen nach Theorie II. Ordnung). Ausgenommen hiervon sind die Rohdichtewerte.
- Beim **Nachweis der Gebrauchstauglichkeit** hingegen werden die elastischen Anfangsverschiebungen mit den unmodifizierten charakteristischen Steifigkeitskennwerten ($\gamma_M = 1$ und $k_{mod} = 1$) berechnet. Die veränderten Belastungs- und Umgebungsbedingungen werden hier über einen Deformationsfaktor k_{def} nach Tabelle A.19 erfaßt, in dem im wesentlichen das Kriechverhalten von Bauteilen und Verbindungen und somit die Langzeitverformungen enthalten sind (siehe hierzu auch Abschnitt 3).

Tabelle 2.3 Verwendung der Faktoren zur Berücksichtigung der Lasteinwirkungsdauer und des Umgebungsklimas

Bemessungssituation	Faktor
Grenzzustände der Tragfähigkeit	k_{mod}
Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit	k_{def}

2.5 Querschnittsschwächungen

Querschnittsschwächungen sind rechnerisch zu berücksichtigen. Ausgenommen hiervon sind

- nicht vorgebohrte Nagellöcher mit einem Durchmesser bis zu 6 mm,
- symmetrisch angeordnete Löcher (Bolzen, Stabdübel, Schrauben, Nägel) in Druckstäben,
- Löcher in der Druckzone von Bauteilen, wenn die Löcher mit einem Material ausgefüllt sind, dessen Steifigkeit größer ist als die des Holzes.

Bei der Ermittlung eines wirksamen Querschnittes sind alle Querschnittsschwächungen zu berücksichtigen, die innerhalb eines Bereiches von $\pm \min a/2$ auftreten, wobei $\min a$ dem Mindestabstand der Verbindungsmittel entspricht. Treten verschiedene Verbindungsmittel gleichzeitig auf, so wird empfohlen, für $\min a$ den größten Wert zu nehmen.

Beispiele zur Berücksichtigung von Querschnittsschwächungen sind in Bild 2.5 angegeben.

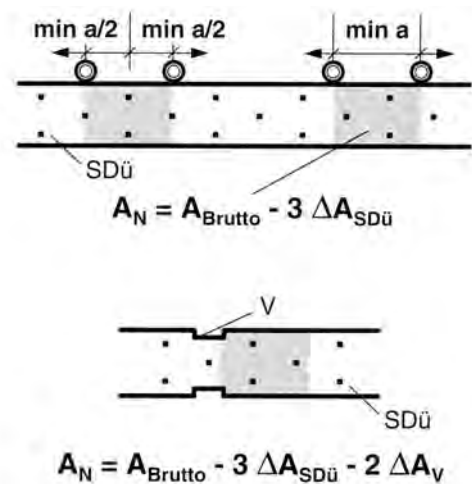


Bild 2.5 Beispiele zur Berücksichtigung von Querschnittsschwächungen ($\min a =$ Mindestabstand der Verbindungsmittel; SDü = Stabdübel; V = Verschwächung)

3 Nachweis der Gebrauchstauglichkeit

3.1 Allgemeines

Mit dem Nachweis der Gebrauchstauglichkeit soll sichergestellt werden, daß keine Verformungen (z.B. Durchbiegungen) und Schwingungen auftreten, die Schäden (z.B. an Verkleidungen, Putzen und Fenstern) verursachen oder die Nutzung/Funktion des Bauwerkes beeinträchtigen können. Im EC5 sind nur Schwingungen bei Decken geregelt.

Wie in den Abschnitten 2.3.3 und 2.4.5 erläutert, werden beim Nachweis der Gebrauchstauglichkeit sowohl die Teilsicherheitsbeiwerte für die Einwirkungen (γ_G, γ_Q) als auch die Teilsicherheitsbeiwerte für das Material (γ_M) gleich 1 eingesetzt. Außerdem dürfen geringere Kombinationsbeiwerte (ψ_1) für die veränderlichen Einwirkungen angesetzt werden (vergleiche Tabelle A.2 und A.3). Die globale Sicherheit in Bezug auf die Gebrauchstauglichkeit ist somit wesentlich geringer als diejenige für die Tragfähigkeit. Dies wird – wie bereits erläutert – mit den unterschiedlichen Schadensfolgen begründet.

3.2 Verformungen

3.2.1 Verformungen von Bauteilen

Der Nachweis der Verformungen von Bauteilen darf nach dem EC5 mit den mittleren Steifigkeitswerten geführt werden (vergleiche auch Tabelle 2.1). Hierzu wird zunächst die elastische Anfangsverformung u_{inst} berechnet, wobei durch die Verwendung des mittleren Elastizitätsmoduls 'Laborbedingungen' mit fünfminütiger Belastungszeit, 20 °C und 65% relativer Luftfeuchte vorausgesetzt werden.

Die Endverformung u_{fin} berechnet sich dann unter Berücksichtigung der sich im Bauwerk einstellenden Bedingungen (Lasteinwirkungsdauer, Umgebungsklima) mit Hilfe des Beiwertes k_{def} zu

$$u_{fin} = u_{inst} (1 + k_{def}) \quad (3.1)$$

mit
 u_{fin} = Endverformung,
 u_{inst} = elastische Anfangsverformung,
 k_{def} = Faktor zur Berücksichtigung des Kriechens (vgl. Tabelle A.19).

Im Unterschied zur Bemessung nach der Normenreihe DIN 1052 sind nach dem EC5 Kriechverformungen stets zu berücksichtigen.

Liegt eine Kombination von Einwirkungen mit unterschiedlichen Lasteinwirkungsdauern und damit auch verschiedenen k_{def} -Werten vor, so sind die Durchbiegungsanteile aus den verschiedenen Einwirkungen mit den jeweils zugehörigen Werten für k_{def} zu berechnen.

Besteht ein Bauteil aus Baustoffen mit unterschiedlichen Kriecheigenschaften (z.B. zusammengesetzte Träger aus Vollholz und Holzwerkstoffen), so darf die Endverformung näherungsweise mit abgeänderten Steifigkeitskennwerten berechnet werden. Diese können bestimmt werden, indem jeder Steifigkeitsmodul durch den zugehörigen Wert von $(1 + k_{def})$ geteilt wird.

3.2.2 Verschiebungen von Verbindungen

Ähnlich wie bei den Bauteilen wird zunächst die elastische Anfangsverformung u_{inst} berechnet, die sich auf der Grundlage der Kraft F_d und des Anfangsverschiebungsmoduls K_{ser} des Verbindungsmittels ergibt:

$$u_{inst} = F_d / K_{ser} \quad (3.2)$$

mit
 u_{inst} = elastische Anfangsverformung,
 F_d = Bemessungswert der auf das Verbindungsmittel wirkenden Kraft
 K_{ser} = Anfangsverschiebungsmodul des Verbindungsmittels
 ⇒ Tabelle A.20

Bei Bolzen ist die elastische Anfangsverschiebung u_{inst} um 1 mm zu erhöhen.

Der Endwert u_{fin} der Verschiebung einer Verbindung berechnet sich zu

$$u_{fin} = u_{inst} (1 + k_{def}) \quad (3.3)$$

mit
 u_{fin} = Endverformung,
 k_{def} = Faktor zur Berücksichtigung des Kriechens (vgl. Tabelle A.19).

Bei Bolzen ist die Endverformung u_{fin} um 1 mm zu erhöhen, wobei jedoch für u_{inst} der entsprechende Wert der Stabdübelverbindung einzusetzen ist.

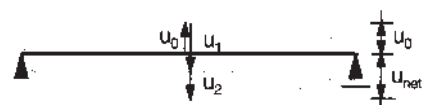
Die Endverformung einer Verbindung zwischen Bauteilen mit unterschiedlichen Kriecheigenschaften ($k_{def,1}$ und $k_{def,2}$) sollte wie folgt berechnet werden:

$$u_{fin} = u_{inst} \sqrt{(1 + k_{def,1})(1 + k_{def,2})} \quad (3.4)$$

3.2.3 Grenzwerte der Durchbiegungen

Während DIN 1052 Teil 1 Grenzwerte für die Durchbiegung angibt, die in jedem Fall einzuhalten sind, gibt der EC5 lediglich Empfehlungen für die entsprechenden Größtwerte. Auch ist der Durchbiegungsnachweis nur dort zu führen, wo dies angebracht erscheint. Damit wird dem Planer mehr Eigenverantwortung übertragen, was bedeutet, daß von ihm erwartet wird, daß er über die Empfindlichkeit der verschiedenen Teile eines Bauwerkes gegenüber Durchbiegungen Bescheid weiß. Da dies aber bei der Bemessung von Konstruktionen aus Stahl und Stahlbeton bereits seit längerem vorausgesetzt wird, stellt die Regelung des EC5 lediglich eine Anpassung an die anderen Baustoffe dar.

Im EC5 wird zwischen drei verschiedenen Durchbiegungsanteilen unterschieden (vgl. Bild 3.1).



u_0 = Überhöhung im lastfreien Zustand,
 u_1 = Durchbiegung infolge ständiger Einwirkungen (G), und
 u_2 = Durchbiegung infolge veränderlicher Einwirkungen (Q).

Bild 3.1 Anteile der Durchbiegung eines Biegeträgers (vgl. EC5: Bild 4.3.1)

Bei der Berechnung der Gesamtdurchbiegung u_{net} darf die aufgebrauchte Überhöhung u_0 voll in Rechnung gestellt und von der Gesamtdurchbiegung abgezogen werden:

$$u_{\text{net}} = u_1 + u_2 - u_0 \quad (3.5)$$

u_{net} = gesamte Durchbiegung, bezogen auf eine die Auflager verbindende Gerade

Grenzwerte der Durchbiegungen \Rightarrow Tabelle A.21

Der EC5 sieht zwei Fälle vor, in denen Durchbiegungsnachweise zu erbringen sind:

- in Fällen, in denen es angebracht erscheint, die elastischen Anfangsdurchbiegungen u_{inst} aus veränderlichen Einwirkungen zu begrenzen, wird – falls nicht besondere Bedingungen andere Anforderungen verlangen – der Grenzwert $l/300$ ($l/150$ für Kragträger) empfohlen. Dieser Nachweis kann zur Anwendung kommen, wenn z.B. übermäßige Durchbiegungen bleibende Schäden an nichttragenden Bauteilen verursachen können;
- in Fällen, in denen es angebracht erscheint, die Enddurchbiegungen zu begrenzen (z.B. wenn zu große Durchbiegungen die Nutzung oder das Erscheinungsbild beeinträchtigen), so werden für die Durchbiegungen $u_{2,\text{fin}}$ und $u_{\text{net,fin}}$ die Grenzwerte $l/200$ ($l/100$ bei Kragträgern) empfohlen. Die Anforderung an $u_{2,\text{fin}}$ wird hierbei nur dann maßgebend, wenn die Überhöhung u_0 größer gewählt wurde, als die sich ergebende Enddurchbiegung $u_{1,\text{fin}}$ aus ständiger Last (d.h. $u_0 - u_{1,\text{fin}} > 0$ und $u_{\text{net}} < u_2$).

Die Grenzwerte der Durchbiegungen gelten auch für Fachwerkträger und beziehen sich dabei sowohl auf die gesamte Spannweite als auch auf die Stäbe zwischen den Knotenpunkten.

Beispiel

gegeben: Einfeldträger $l = 20 \text{ m}$, Nutzungsklasse = 1

ständige Einwirkungen:

$M_{g,d} = 220 \text{ kNm}$

Lasteinwirkungsdauer: ständig $\Rightarrow k_{\text{def}} = 0,6$ (Tab. A.19)

veränderliche Einwirkungen (z.B. Schnee):

$M_{s,d} = 300 \text{ kNm}$

Lasteinwirkungsdauer: kurz $\Rightarrow k_{\text{def}} = 0,0$ (Tab. A.19)

gewählt: Brettschichtholz BS 16k b/h = 140/1100 mm mit einer Überhöhung von $u_0 = 40 \text{ mm}$

$$u_{1,\text{inst}} = \frac{5 M l^2}{48 EI} = \frac{5}{48} \frac{220 \cdot 10^6 \cdot 20000^2}{13500 \cdot 140 \cdot 1100^3 / 12} = 43,7 \text{ mm}$$

$$u_{2,\text{inst}} = 43,7 \cdot 300/220 = 59,6 \text{ mm} < 20\,000/300 = 66,7 \text{ mm}$$

$$u_{2,\text{fin}} = 59,6(1 + 0,0) = 59,6 \text{ mm} < 20\,000/200 = 100 \text{ mm}$$

$$u_{\text{net,fin}} = U_{1,\text{fin}} + u_{2,\text{fin}} - u_0 = 43,7 \cdot (1 + 0,6) + 59,6 - 40 = 89,5 \text{ mm} < 100 \text{ mm}$$

3.3 Schwingungen

Im EC5 werden ausschließlich Schwingungen bei Wohnungsdecken geregelt, wobei darauf hingewiesen wird, daß bei Decken mit einer Eigenfrequenz (Grundschiwingung erster Ordnung) $f_1 \leq 8 \text{ Hz}$ eine besondere Untersuchung durchgeführt werden sollte, die aber nicht näher beschrieben ist.

Es sind folgende Nachweise zu führen:

- ein Durchbiegungsnachweis, der eine Mindestanforderung an die Steifigkeit beinhaltet. Hiermit soll sichergestellt werden, daß bei niederfrequenten Belastungen (wie z.B. Gehen) die Schwingungsamplitude gering gehalten wird, und
- ein Nachweis der Geschwindigkeitsreaktion (Schwingungsgeschwindigkeit), der eine Mindestanforderung an die Masse der Decke beinhaltet. Hiermit soll sichergestellt werden, daß bei impulsartiger Belastung (wie z.B. Springen) die Schwingungsreaktion gering gehalten wird.

Im EC5 werden Abschätzungen für diese Nachweise gegeben, die für rechteckige, an allen Rändern gelenkig gelagerte Holzbalkendecken gelten.

Oft werden Decken jedoch auch als Zweifeldträger ausgebildet, und nicht als Einfeldträger wie im EC5 angenommen. Dies bedeutet, daß die angegebenen Rechenverfahren nur in Ausnahmefällen einsetzbar sind. Daher werden nachfolgend auf der Grundlage von [1] abgeleitete erweiterte Abschätzungen angegeben. Für den Fall eines Einfeldträgers sind diese jedoch identisch mit den Regelungen des EC5.

Die Eigenfrequenz eines Zweifeldträgers darf wie folgt berechnet werden:

$$f_1 = k_f^2 \frac{\pi}{2l_{\text{ges}}^2} \sqrt{\frac{(EI)_l}{m}} \quad (3.6)$$

f_1 Eigenfrequenz der Decke in Hz

k_f Faktor zur Berücksichtigung der Lagerung der Platte (vgl. Bild 3.2). Bei Einfeldträgern ist $k_f = 1$

l_{ges} Deckenspannweite in m ($= l_1 + l_2$)

m Masse pro Flächeneinheit in kg/m^2

$(EI)_l$ äquivalente (Platten-) Biegesteifigkeit in Nm^2/m in Spannrichtung, d.h. Biegesteifigkeit eines Balkens geteilt durch den Abstand.

Diese Gleichung darf auch zur Abschätzung der Eigenfrequenz orthotroper Platten mit $(EI)_l \gg (EI)_b$ herangezogen werden.

Nachweis der Durchbiegung

Die Durchbiegung u einer Decke infolge einer an ungünstigster Stelle wirkenden statischen Einzellast $F = 1 \text{ kN}$ höchstens $1,5 \text{ mm}$ betragen:

$$u/F \leq 1,5 \text{ mm/kN} \quad (3.7)$$

mit

u = größte vertikale Durchbiegung

Nachweis der Geschwindigkeitsreaktion

Nach Gl.(3.8) darf die Geschwindigkeitsreaktion v auf einen aufgebrauchten Einheitsimpuls von 1 Ns einen bestimmten Grenzwert nicht überschreiten. In diesen Grenzwert geht der Dämpfungskoeffizient ($= f_1 \zeta$) ein, der ein Maß dafür ist, wie schnell eine harmonische Schwingung in einer bestimmten Zeit gedämpft wird.

$$v \leq 100(f_1 \zeta^{-1}) \text{ m}/(\text{Ns}^2) \quad (3.8)$$

mit

v = Geschwindigkeitsreaktion auf einen aufgebrauchten Einheitsimpuls von 1 Ns

f_1 = Eigenfrequenz nach Gl.(3.6)

ζ = modaler Dämpfungsgrad

= $0,01$, falls keine geeigneteren Werte vorliegen

Für die Durchführung des Nachweises werden folgende Eingangsdaten benötigt:

$$v = \frac{4(0,4 + 0,6n_{40})}{mbl_{ges} + 200} \quad (3.9)$$

$$n_{40} = k_f \left\{ \left[\left(\frac{40}{f_1} \right)^2 - 1 \right] \left(\frac{b}{l_{ges}} \right)^4 \frac{(EI)_l}{(EI)_b} \right\}^{0,25} \quad (3.10)$$

= Anzahl der Schwingungen erster Ordnung mit einer Resonanzfrequenz unter 40 Hz (s.a. Bild 3.3). Hierbei kann n_{40} höchstens der Anzahl der Balken entsprechen

m = Masse pro Flächeneinheit in kg/m²

b = Deckenbreite in m

l_{ges} = Deckenlänge in m (= $l_1 + l_2$)

$(EI)_l$ = äquivalente Plattenbiegesteifigkeit in Nm²/m in Längsrichtung, d.h. um eine Achse rechtwinklig zur Richtung der Balken

$(EI)_b$ = äquivalente Plattenbiegesteifigkeit in Nm²/m in Querrichtung, d.h. um eine Achse in Richtung der Balken; hierbei ist $(EI)_b \ll (EI)_l$.

Der Nachweis der Geschwindigkeitsreaktion wird bei üblichen Deckensystemen kaum maßgebend. Es empfiehlt sich daher, vor einer genaueren Berechnung das vorhandene Gewicht G der Decke (= mbl_{ges}) dem Mindestgewicht $\min G$ nach Bild 3.4 gegenüberzustellen, wobei n_{40} vereinfacht der Anzahl der Balken gleichgesetzt werden kann.

Die Gültigkeit dieser Nachweise wird im EC5 auf Decken mit Eigenfrequenzen $f_1 > 8$ Hz beschränkt, um eine Resonanzanregung durch stark rhythmische Aktivitäten wie Hüpfen und Tanzen auszuschließen. Derartige Anregungen sind aber bei Wohndecken sehr selten.

In Deutschland kommen andererseits Deckensysteme zum Einsatz, die aus schallschutztechnischen Gründen ein erhöhtes Gewicht aufweisen und somit nicht selten rechnerische Eigenfrequenzen unter 8 Hz (bis zu 6 Hz) aufweisen. In Anbetracht der Tatsache, daß sich diese Deckensysteme in der Vergangenheit bewährt haben, erscheint es nach [1] gerechtfertigt, auch für Decken mit $f_1 > 6$ Hz das Nachweisverfahren nach EC5 zu verwenden. Die Nutzung für Tanz- oder Turnveranstaltungen ist auszuschließen. Der übliche Durchbiegungsnachweis bleibt davon unberührt.

Beispiel

gegeben: zweifeldrige Decke $b/l_{ges} = 6,00/8,00$ m

$l_1 / l_2 = 3,50/4,50 = 0,78$

Gewählt: Vollholz S 10 $b/h = 100/200$ mm, $e = 0,625$ m

$n_{Balken} = 6,00/0,625 = 10$

Dielenbelag in Querrichtung, $d = 24$ mm

$(EI)_l = 11000 \cdot 106 \cdot (0,10 \cdot 0,203/12)/0,625 = 1,17 \cdot 10^6$ Nm²/m

$(EI)_b = 11000 \cdot 106 \cdot 0,0243/12 = 12,7 \cdot 10^3$ Nm²/m

$m = 150$ kg/m² (1,5 kN/m²)

$k_f = 1,92$ (vgl. Bild 3.2)

$$f_1 = 1,92^2 \frac{\pi}{2 \cdot 8,00^2} \sqrt{\frac{1,17 \cdot 10^6}{150}} = 8,0 \text{ Hz} > 6 \text{ Hz}$$

Durchbiegung (näherungsweise als Einfeldträger gerechnet):

$$u = \frac{1}{48} \frac{4,50^3 \cdot 10^6}{1,17 \cdot 10^6} = 1,62 \text{ mm} > 1,5 \text{ mm}$$

Durchbiegung unter Berücksichtigung der Durchlaufwirkung:

$u = 1,1 \text{ mm} < 1,5 \text{ mm}$

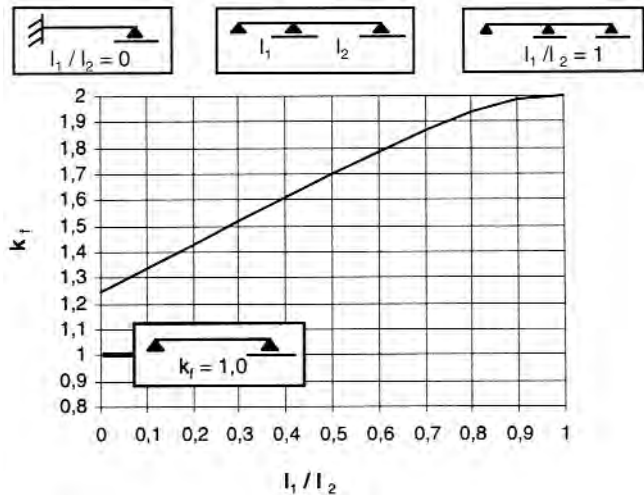


Bild 3.2 Faktor k_f zur Berücksichtigung der Lagerungsart

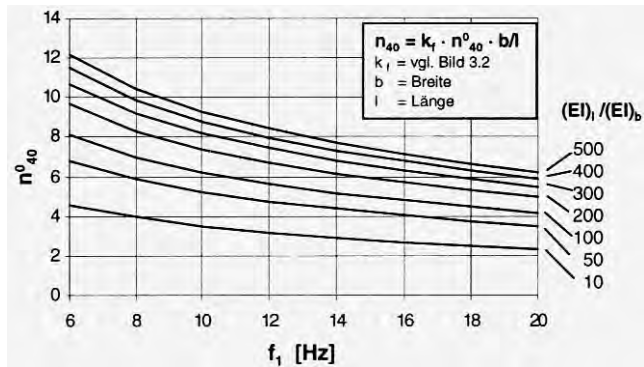


Bild 3.3 Anzahl der Schwingungen n_{40} in Abhängigkeit von der Eigenfrequenz f_1 dem Verhältnis der Biegesteifigkeiten $(EI)_l / (EI)_b$ sowie der Breite b und Länge der Decke

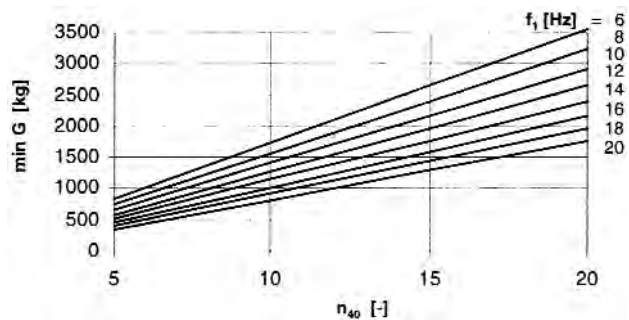


Bild 3.4 Mindest-Gewicht $\min G$ der Decke in Abhängigkeit von der Anzahl der Schwingungen n_{40} und der Eigenfrequenz f_1

$$n_{40} = 1,92 \left\{ \left[\left(\frac{40}{8,0} \right)^2 - 1 \right] \left(\frac{6,00}{8,00} \right)^4 \frac{1,17}{0,0127} \right\}^{0,25} = 9,9 \approx n_{Balken}$$

$$v = \frac{4(0,4 + 0,6 \cdot 10)}{150 \cdot 6,00 \cdot 8,00 + 200} = 0,00346 \text{ m/(Ns}^2\text{)}$$

$$< 100^{(8,0 \cdot 0,01 \cdot 1)} = 0,0145 \text{ m/(Ns}^2\text{)}$$

Beispiel (Nachweis nach Bild 3.3 und 3.4)

$(EI)_l / (EI)_b = 92$

$f_1 = 8,0 \text{ Hz} \Rightarrow n_{40}^0 = 6,8$ (Bild 3.3)

$k_f = 1,92$, $b/l_{ges} = 6,00/8,00 = 0,75$

$\Rightarrow n_{40} \approx 1,92 \cdot 6,8 \cdot 0,75 = 9,8$

vorh $G = mbl_{ges} = 150 \cdot 6,00 \cdot 8,00 = 7200 \text{ kg}$

$\gg \min G \approx 1500 \text{ kg}$ (Bild 3.4)

4 Nachweis der Tragfähigkeit für Bauteile und Konstruktionen

4.1 Grundbeanspruchungen

4.1.1 Zug in Faserrichtung

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{F_{t,d}}{A_{\text{Netto}}} \leq f_{t,0,d} \quad (4.1)$$

Die infolge äußerer Einwirkungen auftretende Zugspannung darf unter Berücksichtigung der vorhandenen Querschnittsschwächungen einen bestimmten Wert nicht überschreiten.

Einseitig beanspruchte Bauteile sind für die 1,5-fache anteilige Zugkraft zu bemessen (vgl. NAD).

Der Zugspannungsnachweis nach dem EC5 unterscheidet sich gegenüber dem entsprechenden Nachweis nach DIN 1052 Teil 1 nur dahingehend, daß beim EC5 die Bemessungswerte der Beanspruchungen/Schnittgrößen und der Widerstände (Festigkeiten) einzusetzen sind.

Beispiel:

gegeben: $F_{t,d} = 50 \text{ kN}$

Nutzungsstufe = 1, Lasteinwirkungsdauer: kurz

gewählt: Vollholz S 10 b/h = 100/100 mm,

$f_{t,0,k} = 14 \text{ N/mm}^2$ (vgl. Tabelle A.6)

$k_{\text{mod}} = 0,9$ (vgl. Tabelle A.18)

$\gamma_M = 1,3$ (vgl. Tabelle A.17)

Angenommene Querschnittsschwächung infolge Verbindungsmittel: 25%

$A_{\text{Netto}} = 0,75 \cdot 100 \cdot 100 = 7500 \text{ mm}^2$

$$\frac{50 \cdot 10^3}{7500} = 6,7 < 0,9 \cdot \frac{14}{1,3} = 9,7 \text{ N/mm}^2$$

4.1.2 Zug rechtwinklig zur Faserrichtung

$$\text{VH: } \sigma_{t,90,d} \leq f_{t,90,d} \quad (4.2)$$

$$\text{BSH: } \sigma_{t,90,d} \leq f_{t,90,d} \cdot (V_0/V)^{0,2} \quad (4.3)$$

V gleichmäßig beanspruchtes Volumen in m^3

V_0 Bezugsvolumen

= 0,01 m^3

Der im EC5 angegebene Querzugspannungsnachweis für 'normale', nicht gekrümmte Bauteile setzt eine gleichmäßig verteilte Querzugspannung über ein gegebenes Volumen V voraus. Da dies bei derzeit üblichen Ausführungen praktisch nicht vorkommt, dürfte dieser Nachweis kaum zur Anwendung kommen.

Der Nachweis der Querzugspannungen bei gekrümmten Trägern aus Brettschichtholz wird in Abschnitt 4.2.2 gesondert behandelt.

4.1.3 Druck in Faserrichtung

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{F_{c,d}}{A_{\text{Netto}}} \leq f_{c,0,d} \quad (4.4)$$

Beispiel:

gegeben: $F_{c,d} = 40 \text{ kN}$

Nutzungsstufe = 1, Lasteinwirkungsdauer: kurz

gewählt: Vollholz S10 b/h = 100/100 mm

$f_{c,0,k} = 21 \text{ N/mm}^2$ (vgl. Tabelle A.6)

$k_{\text{mod}} = 0,9$ (vgl. Tabelle A.18)

$\gamma_M = 1,3$ (vgl. Tabelle A.17)

$$\frac{40 \cdot 10^3}{100 \cdot 100} = 4,0 \text{ N/mm}^2 < 0,9 \cdot 21,0/1,3 = 14,5 \text{ N/mm}^2$$

4.1.4 Druck rechtwinklig zur Faserrichtung

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{F_{c,d}}{A} \leq k_{c,90} \cdot f_{c,90,d} \quad (4.5)$$

mit

$k_{c,90}$ Erhöhungsfaktor bei Druckflächen mit einer Auflagerlänge $l \leq 150 \text{ mm}$ (vgl. Bild 4.1)

Beispiel:

gegeben: $F_{c,d} = 35 \text{ kN}$

Nutzungsstufe = 2, Lasteinwirkungsdauer: mittel

Vollholz S10, $f_{c,90,k} = 5,0 \text{ N/mm}^2$ (vgl. Tabelle A.6)

Auflagerfläche b/l = 160/60 mm, Überstand a = 40 mm

Abstand zum benachbarten Pfosten $l_1 \gg 150 \text{ mm}$

$\Rightarrow k_{c,90} = 1,22$ (vgl. Bild 4.1)

$k_{\text{mod}} = 0,8$ (vgl. Tabelle A.18)

$\gamma_M = 1,3$ (vgl. Tabelle A.17)

$$\frac{35 \cdot 10^3}{160 \cdot 60} = 3,65 \text{ N/mm}^2 < 1,22 \cdot 0,8 \cdot 5,0/1,3 = 3,75 \text{ N/mm}^2$$

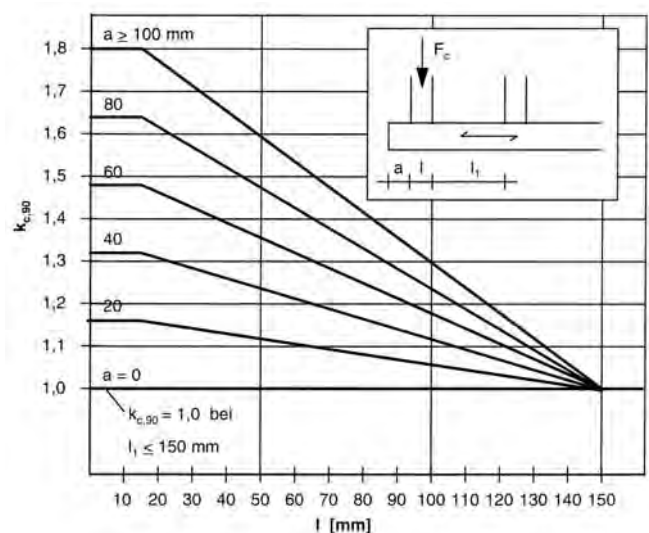


Bild 4.1 Erhöhungsfaktor $k_{c,90}$ bei kleinen Druckflächen ($l \leq 150 \text{ mm}$) mit $l_1 > 150 \text{ mm}$

4.1.5 Druck unter einem Winkel zur Faserrichtung

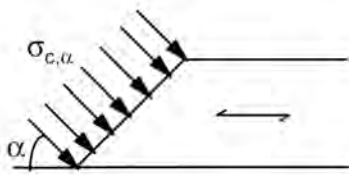


Bild 4.2 Spannungen unter einem Winkel zur Faserrichtung

$$\sigma_{c,\alpha,d} \leq k_{c,\alpha} \cdot f_{c,0,d} \quad (4.6)$$

mit

$$k_{c,\alpha} = \frac{1}{\frac{f_{c,0,d}}{f_{c,90,d}} \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} \quad (4.7)$$

Der Faktor $k_{c,\alpha}$ ist in Bild 4.3 für die Sortierklassen nach Tabelle A.6 in Abhängigkeit vom Winkel α angegeben. Diese Abhängigkeit ist auch für Brett-schichtholz gültig, wenn die Sortierklassen der Lamellen angesetzt werden.

Beispiel:

gegeben: $\alpha = 30^\circ$, Vollholz S 10

$$\Rightarrow k_{c,30} = 0,56 \text{ (vgl. Bild 4.3)}$$

4.1.6 Biegung

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (4.8a)$$

$$k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (4.8b)$$

$k_m = 0,7$ bei Rechteckquerschnitten
 $= 1,0$ bei anderen Querschnitten

Im Falle von Doppelbiegung müssen nicht beide Beanspruchungen voll in Ansatz gebracht werden. So darf z.B. bei Rechteckquerschnitten eine der beiden auftretenden Spannungen um 30% abgemindert werden. Dies kann damit begründet werden, daß die maximale Spannung nur örtlich begrenzt an einer Ecke des Querschnittes auftritt und die Versagenswahrscheinlichkeit dadurch geringer ist. Hierbei wird der Nachweis maßgebend, bei dem der kleinere Anteil der Biegespannungen mit k_m multipliziert wird.

In Bild 4.4 ist dargestellt, bei welchen Spannungsverhältnissen der Nachweis eingehalten ist.

Beispiel:

gegeben: $M_{y,d} = 95 \text{ kNm}$, $M_{z,d} = 12 \text{ kNm}$
Nutzungs-kategorie = 1, Lasteinwirkungsdauer: kurz

Gewählt: Brett-schichtholz BS 18k b/h = 120/600 mm
 $W_y = 7,2 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$, $W_z = 1,44 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$
 $f_{m,k} = 36 \text{ N/mm}^2$ (vgl. Tabelle A.7)

$k_{mod} = 0,9$ (vgl. Tabelle A.18)
 $\gamma_M = 1,3$ (vgl. Tabelle A.17)
 $f_{m,k} = 0,9 \cdot 36 / 1,3 = 24,9 \text{ N/mm}^2$

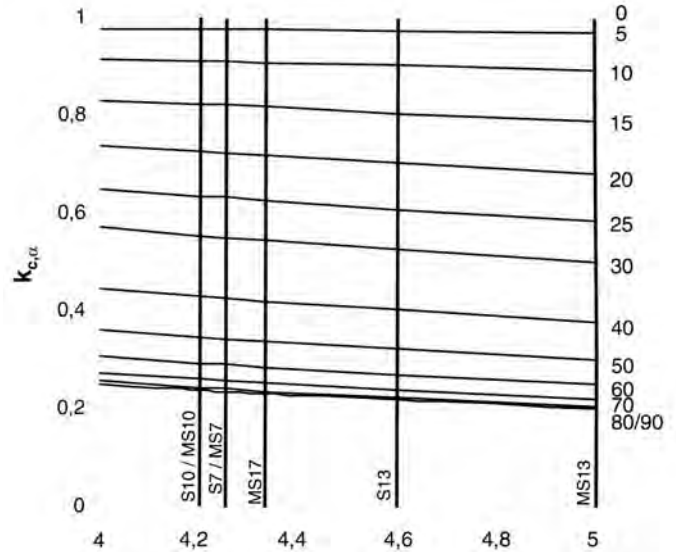


Bild 4.3 Faktor $k_{c,\alpha}$ in Abhängigkeit von der Sortierklasse des Holzes und dem Winkel α

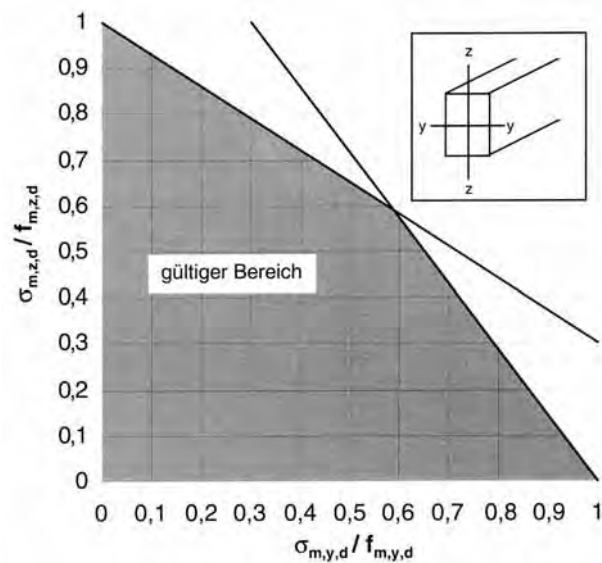


Bild 4.4 Nachweis der Biegespannung bei Rechteckquerschnitten

$$\frac{M_{y,d}}{W_y f_{m,d}} = \frac{95}{7,2 \cdot 24,9} = 0,53$$

$$\frac{M_{z,d}}{W_z f_{m,d}} = \frac{12}{1,44 \cdot 24,9} = 0,33$$

$$0,53 + 0,7 \cdot 0,33 = 0,76 < 1$$

vgl. auch Bild 4.4:
 $\sigma_{m,y,d} / f_{m,y,d} = 0,53$, $\sigma_{m,z,d} / f_{m,z,d} = 0,33$
 \Rightarrow liegt im schraffierten 'gültigen' Bereich

4.1.7 Schub

$$\tau_d \leq f_{v,d} \quad (4.9)$$

Tritt eine Einzellast nahe am Auflager auf, so braucht nur ein Anteil der daraus resultierenden Querkraft – entsprechend der zugehörigen reduzierten Einflußlinie – bei der Bemessung angesetzt werden:

$$Q_{v,red} = K_{v,red} \cdot Q_v \quad (4.10)$$

$K_{v,red}$ = Reduktionsbeiwert entsprechend der reduzierten Einflußlinie

Q_v = theoretische Querkraft infolge F nach statischer Berechnung

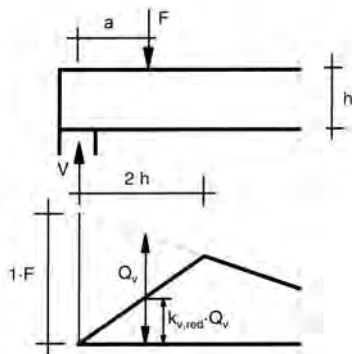


Bild 4.5 Reduzierte Einflußlinie für Einzellasten

Für den Fall eines Einfeldträgers ist $k_{v,red}$ in *Bild 4.6* dargestellt.

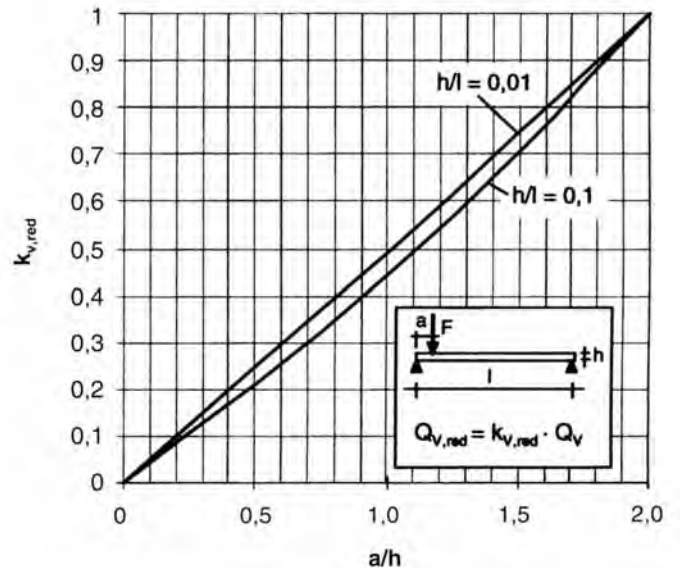


Bild 4.6 Beiwert $K_{v,red}$

4.1.8 Ausgeklinkte Träger

Bei Trägern, die an der Unterseite ausgeklinkt sind, ist der Einfluß der Spannungskonzentration in der Ausklinkung zu berücksichtigen. Hierbei wird erstmals der Einfluß der Größe des Trägers über die Höhe h berücksichtigt ('Volumeneinfluß'). Nach dem NAD ist der nachfolgende Nachweis jedoch auf Fälle mit $\alpha = h_e/h \geq 0,5$ und $x/h \leq 0,4$ beschränkt.

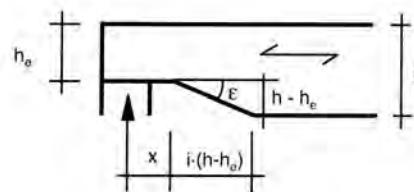


Bild 4.7 Unten ausgeklinkter Biegeträger

$$\tau_d = 1,5 \frac{V}{bh_e} \leq k_v f_{v,d} \quad (4.11)$$

$$k_v = 1,0 \text{ bei oben ausgeklinkten Trägern} \quad (4.12a)$$

$$k_v = \min \left\{ 1, \frac{1}{k_{v,90} \cdot k_i} \right\} \text{ bei unten ausgeklinkten Trägern (Bild 4.7)}$$

$k_{v,90}$ = Faktor bei rechtwinkligen Ausklinkungen (vgl. *Bild 4.8*)

$$k_{v,90} = \frac{k_n}{\sqrt{h \left(\sqrt{\alpha(1-\alpha)} + 0,8 \frac{x}{h} \sqrt{\frac{1}{\alpha} - \alpha^2} \right)}} \quad (4.13)$$

k_i = Faktor bei schrägen Ausklinkungen (vgl. *Bild 4.9*)

$$k_i = 1 + \frac{1,1 \cdot i^{1,5}}{\sqrt{h}} \quad (4.14)$$

k_n = Maß für die Bruchenergie

= 5,0 für Vollholz

= 6,5 für Brettschichtholz

h = Querschnittshöhe in mm

$\alpha = h_e/h \geq 0,5$

x = Abstand zwischen der Auflagerresultierenden und der Ecke mit $x/h \geq 0,4$

i = Steigung des Anschnittes = $1/\tan \epsilon$

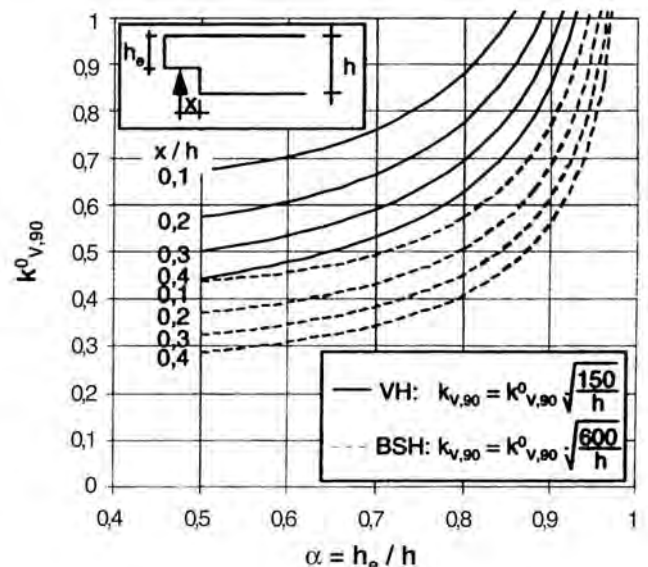


Bild 4.8 Beiwert $k_{v,90}$ bei rechtwinkligen Ausklinkungen

Aus Bild 4.8 und 4.9 geht hervor, daß bei flachen Anschnitten mit Steigungen von $i > 15$ im Regelfall keine Abminderung der Schubfestigkeit mehr vorzunehmen ist.

Beispiel:

gegeben: $V_d = 30 \text{ kN}$

Nutzungsklasse = 1, Lasteinwirkungsdauer: kurz
Gewählt: Brettschichtholz BS 14k $b/h = 120/700 \text{ mm}$
 $f_{v,k} = 2,7 \text{ N/mm}^2$
 $k_{mod} = 0,9$ (vgl. Tabelle A.18)
 $\gamma_M = 1,3$ (vgl. Tabelle A.17)

schräge Ausklinkung:

$h_e = 500 \text{ mm} \Rightarrow \alpha = 500/700 = 0,71 > 0,5$
 $x = 250 \text{ mm} \Rightarrow x/h = 250/700 = 0,36 < 0,4$

$$\Rightarrow k_{v,90}^0 = 0,36 \Rightarrow k_{v,90} = 0,36 \sqrt{\frac{600}{700}} = 0,33 \text{ (vgl. Bild 4.8)}$$

$$i \cdot (h - h_e) = 800 \text{ mm} \Rightarrow i = 4 \Rightarrow k_i = 1,35 \text{ (vgl. Bild 4.9)}$$

$$\Rightarrow k_v = 0,33 \cdot 1,35 = 0,45$$

$$1,5 \frac{30 \cdot 10^3}{120 \cdot 500} = 0,75 < 0,45 \cdot 0,9 \cdot 2,7 / 1,3 = 0,84 \text{ N/mm}^2$$

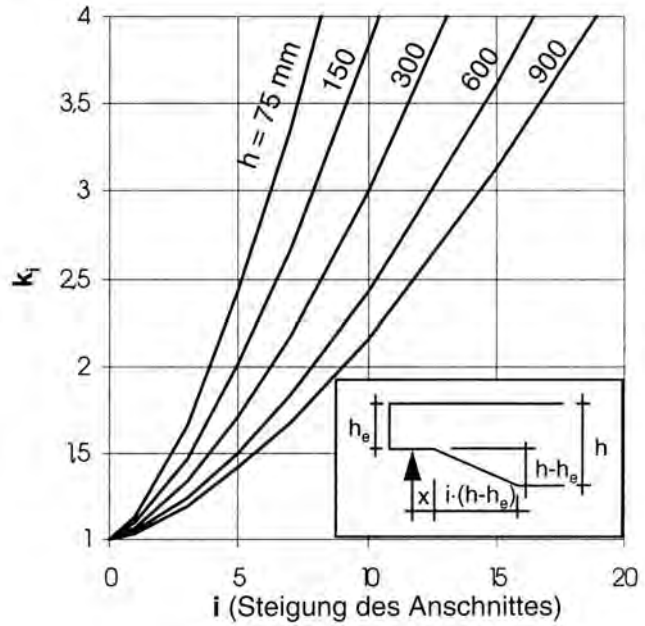


Bild 4.9 Erhöhungsfaktor k_i bei schrägen Ausklinkungen

4.1.9 Torsion

$$\tau_{\text{tor,d}} \leq f_{v,d} \quad (4.15)$$

Als Maß für die Torsionsfestigkeit wird auf der sicheren Seite liegend die Schubfestigkeit herangezogen. Für die Überlagerung von Schub- und Torsionsspannungen ist im EC5 keine gesonderte Regelung vorgesehen. Nach STEP B4 [2] wird folgende Interaktionsgleichung empfohlen:

$$\frac{\tau_{\text{tor,d}}}{f_{v,d}} + \left(\frac{\tau_{v,d}}{f_{v,d}} \right)^2 \leq 1 \quad (4.16)$$

4.1.10 Zug und Biegung

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (4.17a)$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (4.17b)$$

$k_m = 0,7$ bei Rechteckquerschnitten
 $= 1,0$ bei anderen Querschnitten

Bei gleichzeitigem Auftreten von Zug- und Biegespannungen gilt eine lineare Interaktionsbeziehung ähnlich der in DIN 1052 Teil 1. Bei auftretender Doppelbiegung ist jedoch nur ein Anteil aus Biegung voll anzusetzen (vgl. auch Abschn. 4.1.6).

In Bild 4.10 ist dargestellt, bei welchen Spannungsverhältnissen die Nachweise erfüllt sind.

Fortsetzung von Beispiel aus Abschn. 4.1.6:

zusätzliche Zugkraft $F_{t,0,d} = 130 \text{ kN}$
Brettschichtholz BS 18k $\Rightarrow f_{t,0,k} = 23,5 \text{ N/mm}^2$ (vgl. Tabelle A.7)
 $f_{t,0,d} = 0,9 \cdot 23,5 / 1,3 = 16,3 \text{ N/mm}^2$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} = \frac{130 \cdot 10^3}{120 \cdot 600 \cdot 16,3} = 0,11$$

$$0,11 + 0,53 + 0,7 \cdot 0,33 = 0,87 < 1$$

(vgl. auch Bild 4.10)

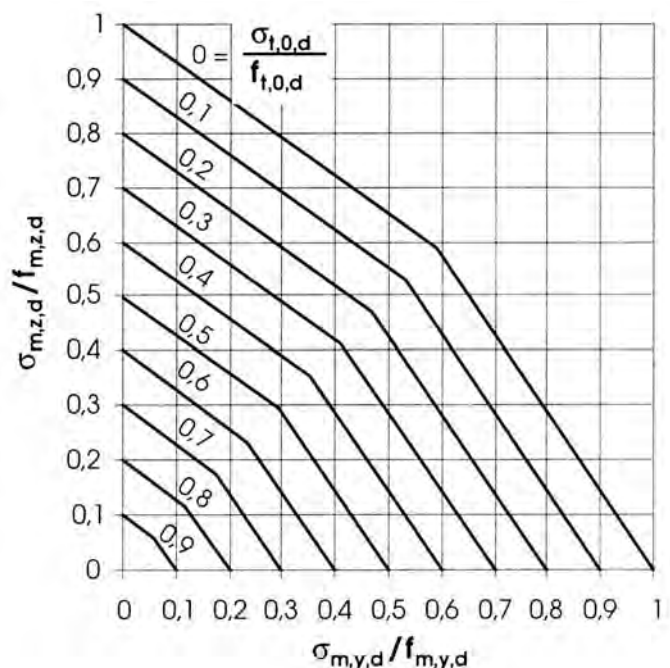


Bild 4.10 Diagramm zum Nachweis bei Zug und Biegung

4.1.11 Druck und Biegung

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (4.18a)$$

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}}\right)^2 + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (4.18b)$$

$k_m = 0,7$ bei Rechteckquerschnitten
 $= 1,0$ bei anderen Querschnitten

Bei gleichzeitigem Auftreten von Druck- und Biegespannungen (ohne Berücksichtigung des Knickens und Kippens) gilt eine nichtlineare Interaktionsbeziehung, bei der der Anteil der Druckspannung nicht voll eingeht. Dies wird mit der Plastifizierung der Druckzone im Versagenszustand erklärt.

In Bild 4.11 ist dargestellt, bei welchen Spannungsverhältnissen die Nachweise erfüllt sind.

Fortsetzung Beispiel aus Abschn. 4.1.6:
zusätzliche Druckkraft $F_{c,0,d} = 400 \text{ kN}$
Brettschichtholz BS 18k $b/h = 120/600 \text{ mm}$
 $\Rightarrow f_{c,0,k} = 30,5 \text{ N/mm}^2$ (vgl. Tabelle A.7)

$$f_{c,0,d} = 0,9 \cdot 30,5 / 1,3 = 21,1 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} = \frac{400 \cdot 10^3}{120 \cdot 600 \cdot 21,1} = 0,26$$

$$(0,26)^2 + 0,53 + 0,7 \cdot 0,33 = 0,83 < 1$$

(vgl. auch Bild 4.11)

4.2 Pultdachträger, gekrümmte Träger und Satteldachträger

4.2.1 Pultdachträger

Bei Pultdachträgern (vgl. Bild 4.12) sind – vor allem im Hinblick auf die Anisotropie des Holzes – zwei Besonderheiten zu beachten:

- die nichtlineare Biegespannungsverteilung über die Querschnittshöhe, und
- das Zusammenwirken von Längs-, Quer- und Schubspannungen am angeschnittenen Rand (Spannungsinteraktion). Dieser Einfluß wird über eine Abminderung der Biegefestigkeit berücksichtigt (vgl. $k_{m,\alpha}$ in Gl. (4.19b)).

Für Anschnittwinkel $\alpha \leq 10^\circ$ müssen die an den Rändern auftretenden Biegespannungen folgende Bedingungen erfüllen:

$$\sigma_{m,0,d} = (1 + 4 \tan^2 \alpha) \frac{6M_d}{bh^2} \leq f_{m,d} \quad (4.19a)$$

$$\sigma_{m,\alpha,d} = (1 - 4 \tan^2 \alpha) \frac{6M_d}{bh^2} \leq k_{m,\alpha} \cdot f_{m,d} \quad (4.19b)$$

Treten entlang des angeschnittenen Randes Zugspannungen auf, so gilt (vgl. auch Bild 4.13a)

$$k_{m,\alpha} = \frac{1}{\frac{f_{m,d}}{f_{t,90,d}} \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} \quad (4.20a)$$

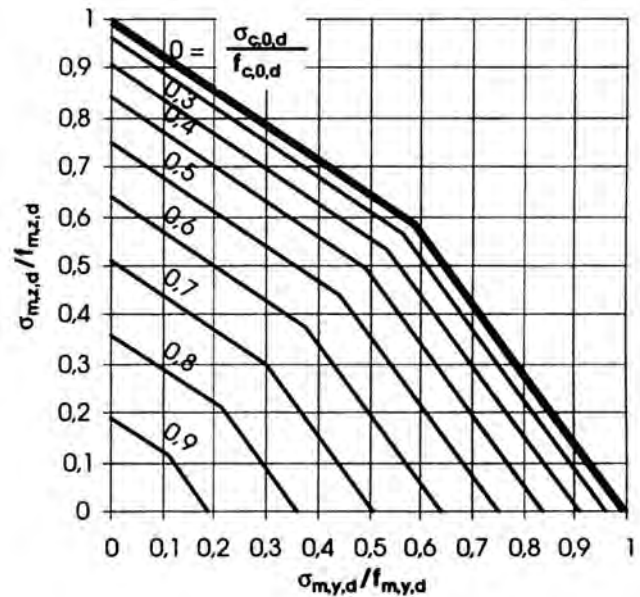


Bild 4.11 Diagramm zum Nachweis bei Druck und Biegung

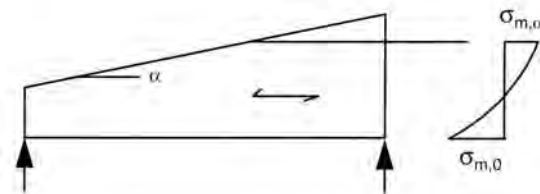


Bild 4.12 Pultdachträger

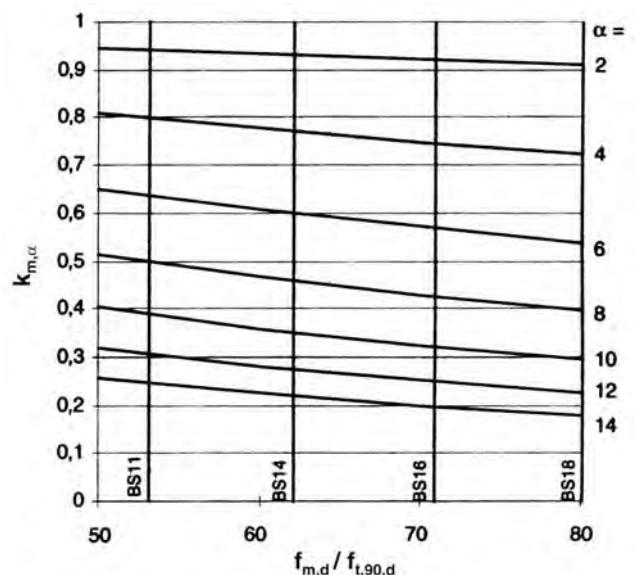


Bild 4.13a Faktor $k_{m,\alpha}$ für Zugspannungen am angeschnittenen Rand

Treten entlang des angeschnittenen Randes Druckspannungen auf, so gilt (vgl. auch Bild 4.13b)

$$k_{m,\alpha} = \frac{1}{\frac{f_{m,d}}{f_{c,90,d}} \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} \quad (4.20b)$$

Werte für die Erhöhung bzw. die Abminderung der Biegespannungen können Bild 4.14 entnommen werden.

Beispiel:

gegeben: $M_d = 250 \text{ kNm}$

Nutzungsstufe = 1, Lasteinwirkungsdauer: kurz

Brettschichtholz BS 14k mit $b/h = 140/800 \text{ mm}$ an der Stelle von $\max \sigma$

$f_{m,k} = 28 \text{ N/mm}^2$, $\alpha = 6^\circ \Rightarrow k_{m,\alpha} = 0,96$ (vgl. Bild 4.13b)

$k_{mod} = 0,9$, $\gamma_M = 1,3$

$$\sigma_{m,0,d} = 1,05 \frac{6 \cdot 250 \cdot 10^6}{140 \cdot 800^2} = 17,6 \text{ N/mm}^2 \text{ (vgl. Bild 4.14)}$$

$$< 0,9 \cdot 28 / 1,3 = 19,4 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{m,\alpha,d} = 0,95 \frac{6 \cdot 250 \cdot 10^6}{140 \cdot 800^2} = 15,9 \text{ N/mm}^2 \text{ (vgl. Bild 4.14)}$$

$$< 0,96 \cdot 0,9 \cdot 28 / 1,3 = 18,6 \text{ N/mm}^2$$

4.2.2 Gekrümmte Träger und Satteldachträger

In diesem Abschnitt werden die in Bild 4.15 dargestellten Trägertypen behandelt.

Bei diesen Trägern sind nachfolgende Besonderheiten zu beachten:

- Einfluß des angeschnittenen Randes bei Trägern, die sich zum Auflager hin verjüngen,
- nichtlineare Biegespannungsverteilung im Firstbereich, und
- Querspannungen im Firstbereich, die infolge der Kraftumlenkung auftreten.

Bei den nachfolgenden Nachweisen wird die Firsthöhe h_{ap} benötigt. Sie kann berechnet werden zu

$$h_{ap} = h_A + 1/2 \cdot \tan \alpha \quad (4.21 a)$$

bei Trägern mit geradem Untergurt, und

$$h_{ap} = h^A + 1/2 \cdot (\tan \alpha - \tan \beta) + r_{in}(\sin \beta - \tan \beta + \cos \beta - 1) \quad (4.21 b)$$

bei Trägern mit gekrümmtem Untergurt

Einfluß des angeschnittenen Randes

Für die geraden Trägerbereiche mit angeschnittenen Fasern gelten die in Abschnitt 4.2.1 gemachten Ausführungen.

Biegespannungen im Firstbereich

Im Firstquerschnitt müssen die Biegespannungen folgende Bedingung erfüllen:

$$\sigma_{m,d} = k_l \cdot \frac{6M_{ap}}{bh_{ap}^2} \leq k_r \cdot f_{m,d} \quad (4.22)$$

k_l = Faktor zur Berücksichtigung der erhöhten Biegespannung (vgl. Bild 4.16). Dieser Wert ist identisch mit dem Beiwert κ_l nach DIN 1052 Teil 1, Abschnitt 8.2.3.3.

k_r = Faktor zur Berücksichtigung der Festigkeitsabnahme infolge des Biegens der Lamellen während der Herstellung

$$= 1 \quad \text{für} \quad r_{in}/t \geq 240$$

$$= 0,76 + 0,001 \cdot r_{in}/t \quad \text{für} \quad r_{in}/t < 240$$

mit r_{in} und Lamellendicke t nach Bild 4.15b und c.

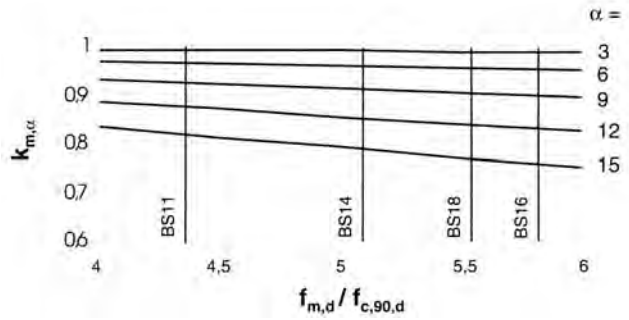


Bild 4.13b Faktor $k_{m,\alpha}$ für Druckspannungen am angeschnittenen Rand

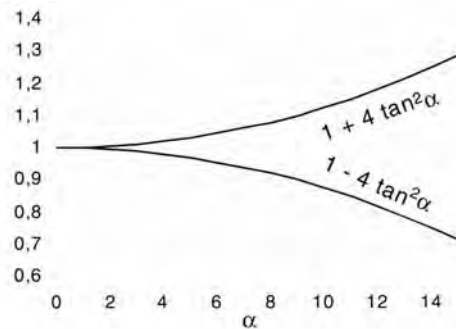
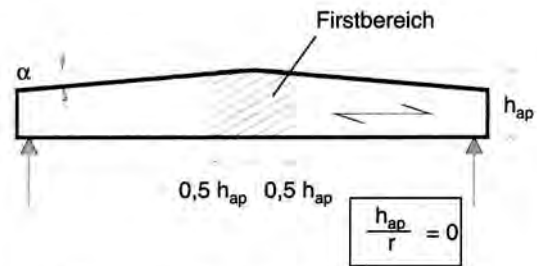
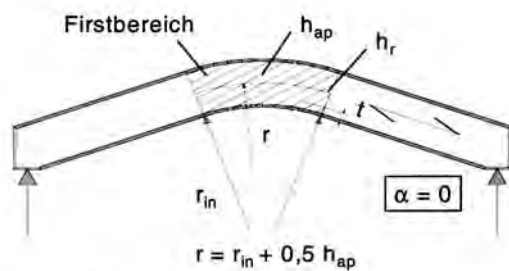


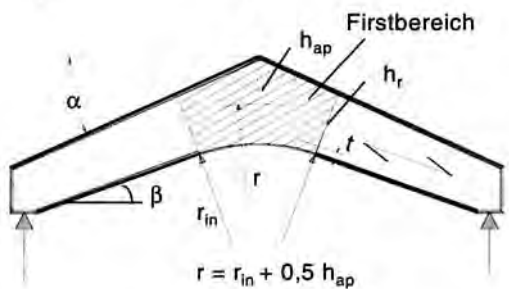
Bild 4.14 Erhöhung und Abminderung der Biegespannung bei Pultdachträgern



a) Satteldachträger mit geradem Untergurt



b) Gekrümmter Träger



c) Satteldachträger mit gekrümmtem Untergurt

Bild 4.15 Trägertypen

Querzugspannungen im Firstbereich

Die im Firstquerschnitt infolge der Kraftumlenkung auftretenden Querzugspannungen (Zugspannungen rechtwinklig zur Faserichtung) sollten folgende Bedingung erfüllen:

$$\sigma_{t,90,d} = k_p \cdot \frac{6M_{ap}}{bh_{ap}^2} \leq k_{dis} \cdot (V_0 / V)^{0,2} \cdot f_{t,90,d} \quad (4.23)$$

k_p = Faktor zur Berechnung der größten Querzugspannung (vgl. Bild 4.17). Dieser Wert ist identisch mit dem Beiwert κ_q nach DIN 1052 Teil 1, Abschnitt 8.2.3.2.

k_{dis} = Faktor zur Berücksichtigung des Einflusses der nicht gleichförmigen Spannungsverteilung im Firstbereich

- = 1,4 für Satteldachträger mit geradem Untergurt und gekrümmte Träger,
- = 1,7 für Satteldachträger mit gekrümmtem Untergurt.

V_0 = Bezugsvolumen
= 0,01 m³

V = querzugbeanspruchtes Trägervolumen in m³. V wird hierbei näherungsweise dem Volumen des (gekrümmten) Firstbereiches gleichgesetzt, wobei als Größtwert 2/3 des gesamten Trägervolumens anzusetzen ist.

Berechnung des querzugbeanspruchten Volumens

Für **Satteldachträger mit geradem Untergurt** berechnet sich das querzugbeanspruchte Volumen zu:

$$V = bh_{ap}^2 \cdot (1 - 0,25 \tan \alpha) \quad (4.24)$$

Der Klammerausdruck kann hierbei näherungsweise auch gleich 1 gesetzt werden, weil dieser bei Dachneigungen $\alpha \leq 20^\circ$ Werte liefert, die größer als 0,9 sind, so daß der dadurch entstehende 'Fehler' nach Gl.(4.23) unter 2% liegt. Dies gilt um so mehr, als dieser Fehler auf der sicheren Seite liegt.

Bei **gekrümmten Trägern** kann nach Bild 4.18 zwischen den drei nachfolgend aufgeführten Anteilen unterschieden werden. Hierbei berechnet sich die am Beginn der Krümmung vorhandene Trägerhöhe h_r in ausreichender Näherung zu:

$$h_r \approx [h_A + (l/2 - r_{in} \sin \beta) (\tan \alpha - \tan \beta)] \cos((\alpha + \beta)/2) \quad (4.25)$$

a) konzentrisch gekrümmte Träger:

$$V = V_1 = bh_r^2 \cdot 2\pi (0,5 + r_{in}/h_r)\beta/180 \quad (4.26a)$$

b) parallelgurtiger gekrümmter Satteldachträger mit $\alpha = \beta$:

$$V = V_1 + V_2 \quad \text{mit} \quad (4.26b)$$

$$V_2 = bh_r^2 (1 + r_{in}/h_r) 2 \cdot (\sin^2 \beta \tan \beta + \sin \beta \cos \beta - \pi\beta/180)$$

c) verjüngter Satteldachträger mit $\alpha > \beta$:

$$V = V_1 + V_2 + V_3 \quad \text{mit}$$

$$V_3 = bh_r^2 (1 + r_{in}/h_r)^2 \sin^2 \beta (\tan \alpha - \tan \beta) \quad (4.26c)$$

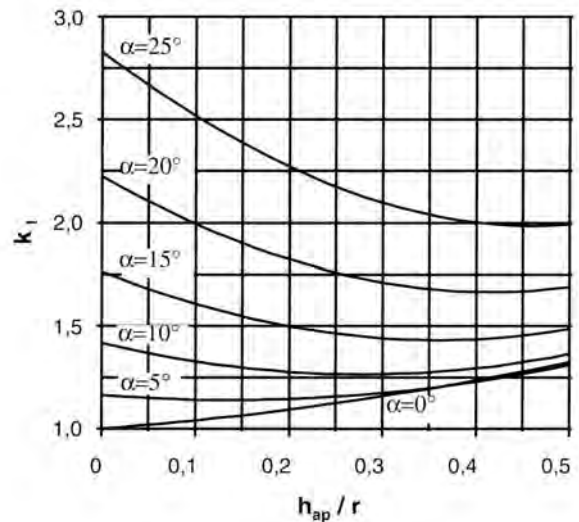


Bild 4.16 Faktor k_l zur Berechnung der Längsspannung im First

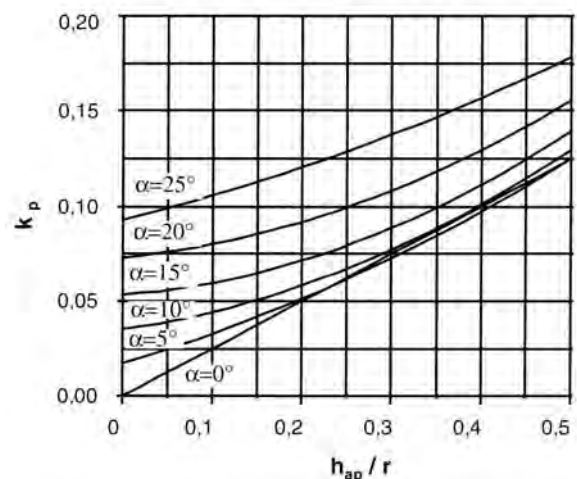


Bild 4.17 Faktor k_p zur Berechnung der Querzugspannung im First

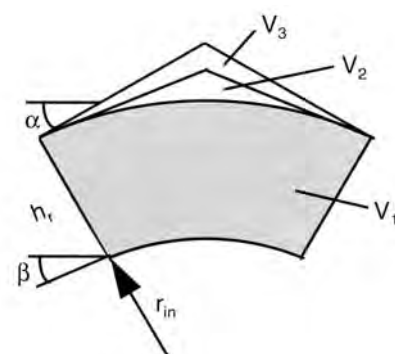


Bild 4.18 Anteile des querzugbeanspruchten Volumens bei gekrümmten Trägern

Da diese Gleichungen jedoch für die Handrechnung zu aufwendig sind, werden die nachfolgenden Näherungen vorgeschlagen, deren Anwendung die Berechnung des querzugbeanspruchten Volumens mit einem Fehler von maximal 5% ermöglicht. Der bei der Bemessung nach Gl.(4.23) gemachte Fehler liegt somit unter 1%.

$$V_1 \approx k_{vol,1} b h_r^2 \quad \text{mit} \quad (4.27a)$$

$$k_{vol,1} = 0,035 \cdot \beta \cdot r_{in}/h_r \quad (\text{vgl. Bild 4.19})$$

$$V_2 \approx k_{vol,2} V_2 \quad \text{mit} \quad (4.27b)$$

$$k_{vol,2} \text{ nach Bild 4.20.}$$

$$V_3 \approx k_{vol,3} V_2 \quad \text{mit} \quad (4.27c)$$

$$k_{vol,3} = 3 (\alpha - \beta) / \beta$$

Das gesamte Trägervolumen V berechnet sich somit zu

$$V \approx b h_r^2 k_{vol,1} (1 + k_{vol,2} + k_{vol,3} k_{vol,2}) \quad (4.28)$$

Beispiel

gegeben: Satteldachträger mit gekrümmten Untergurt, aufgleimter Firstkeil, $M_d = 720 \text{ kNm}$

gewählt: Brettschichtholz BS 14k, $b = 180 \text{ mm}$,
 $f_{m,k} = 28 \text{ N/mm}^2$, $f_{t,90,k} = 0,45 \text{ N/mm}^2$

Nutzungsklasse = 1, Lasteinwirkungsdauer: kurz
 $\Rightarrow k_{mod} = 0,9$, $\gamma_M = 1,3$

$$\alpha = 12^\circ, \beta = 5^\circ, l = 20 \text{ m}, h_A = 0,7 \text{ m}, r_{in} = 35 \text{ m}$$

$$h_r = [0,7 + (20/2 - 35 \cdot \sin 5^\circ) (\tan 12^\circ - \tan 5^\circ)] \cos 8,5 = 1,55 \text{ m}$$

$$h_{ap} = 0,7 + 20/2 \cdot (\tan 12^\circ - \tan 5^\circ) + 35 (\sin 50^\circ \cdot \tan 50^\circ + \cos 50^\circ - 1) = 2,08 \text{ m}$$

$$r_{in}/h_r = 35/1,55 = 22,6$$

$$k_{vol,1} = 4,0 \text{ (Bild 4.19)}, k_{vol,2} = 0,03 \text{ (Bild 4.20)}$$

$$V_1 = 4 \cdot 0,18 \cdot 1,55^2 = 7,73 \text{ m}^3$$

$$V_2 = 0,03 \cdot 1,73 = 0,05 \text{ m}^3$$

$$V_3 = 3 \cdot (12 - 5) / 5 \cdot 0,05 = 0,22 \text{ m}^3$$

$$V = 1,73 + 0,05 + 0,22 = 2,00 \text{ m}^3$$

$$\alpha = 12^\circ, h_{ap}/(r_{in} + h_{ap}/2) = 2,08/36,04 = 0,0577$$

Biegespannungsnachweis

$$k_t = 1,47 \text{ (vgl. Bild 4.16)},$$

$$k_r = 1,0 \text{ da } r_{in}/t = 35/0,036 = 972 > 240$$

$$\sigma_{m,d} = 1,47 \frac{6 \cdot 720 \cdot 10^6}{180 \cdot 2080^2} = 8,2 < 1,0 \cdot 0,9 \cdot 28 / 1,3 = 19,4 \text{ N/mm}^2$$

Querzugspannungsnachweis

$$k_p = 0,045 \text{ (vgl. Bild 4.17)}, k_{dis} = 1,7$$

$$0,045 \frac{6 \cdot 720 \cdot 10^6}{180 \cdot 2050^2} = 0,26 > 1,7 \left(\frac{0,01}{2,00} \right)^{0,2} \cdot 0,9 \frac{0,45}{1,3} = 0,18 \text{ N/mm}^2$$

Nachweis nicht eingehalten!

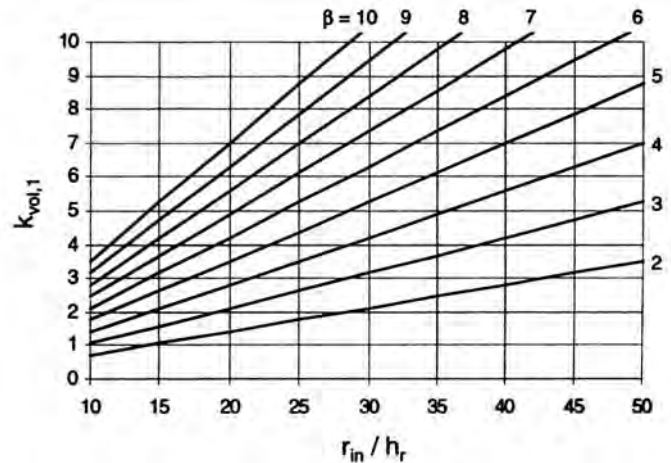


Bild 4.19 Faktor $k_{vol,1}$ zur Berechnung des querzugbeanspruchten Volumens bei gekrümmten Trägern

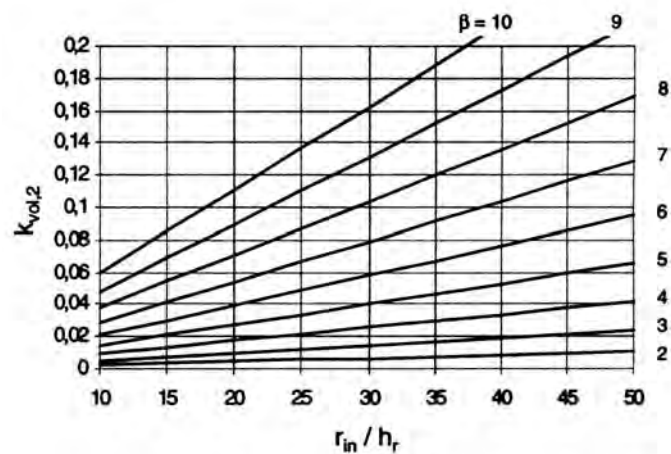


Bild 4.20 Faktor $k_{vol,2}$ zur Berechnung des querzugbeanspruchten Volumens bei gekrümmten Trägern

Alternative: lose aufgesattelter Firstkeil:

$$h_{ap} = h_r = 1,55 \text{ m}$$

$$V = V_1 = 1,73 \text{ m}^3$$

$$h_{ap}/r = 1,55/(35,0 + 1,55/2) = 0,043, \alpha = 0$$

Biegespannungsnachweis

$$\Rightarrow k_t = 1,02 \text{ (vgl. Bild 4.16)},$$

$$k_r = 1,0 \text{ da } r_{in}/t = 35/0,036 = 972 > 240$$

$$\sigma_{m,d} = 1,02 \frac{6 \cdot 720 \cdot 10^6}{180 \cdot 1550^2} = 10,1 < 1,0 \cdot 0,9 \cdot 28 / 1,3 = 19,4 \text{ N/mm}^2$$

Querzugspannungsnachweis

$$k_p = 0,011 \text{ (vgl. Bild 4.17)}, k_{dis} = 1,4$$

$$0,011 \frac{6 \cdot 720 \cdot 10^6}{180 \cdot 1550^2} = 0,11 < 1,4 \left(\frac{0,01}{1,73} \right)^{0,2} \cdot 0,9 \frac{0,45}{1,3} = 0,16 \text{ N/mm}^2$$

4.3 Stabilitätsnachweise

4.3.1 Druckstäbe mit Knickgefahr

Bei Druckstäben müssen die durch Vorkrümmungen und nach Theorie II. Ordnung entstehenden zusätzlichen Biegespannungen berücksichtigt werden. Folgender Nachweis ist zu führen:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_c} \leq f_{c,0,d} \tag{4.29}$$

k_c = Knickbeiwert (vergleichbar mit $1/\omega$ nach DIN 1052)

$$1/k_c = k + \sqrt{k^2 - \lambda_{rel}^2} \tag{4.30}$$

$$k = 0,5 (1 + \beta_c (\lambda_{rel} - 0,5) + \lambda_{rel}^2) \tag{4.31}$$

$\beta_c = 0,2$ für Vollholz
 $= 0,1$ für Brettschichtholz

$$\lambda_{rel} = \frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit}} = \lambda \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\pi^2 E_{0,05}}} \tag{4.32}$$

$$\sigma_{c,crit} = \frac{\pi^2 E_{0,05}}{\lambda^2} \tag{4.33}$$

λ = Schlankheitsgrad des Druckstabes

EC5 berücksichtigt das plastische Arbeitsvermögen des Holzes bei Druckbeanspruchung in Faserrichtung und ermöglicht so insbesondere im mittleren Schlankheitsbereich von $\lambda = 30$ bis 80 das Ansetzen von höheren Tragfähigkeiten. Für Schlankheiten $\lambda \leq 30$ ($\lambda_{rel} \leq 0,5$) ergibt sich k_c zu 1, so daß kein Knicknachweis zu führen ist.

$1/k_c$ -Werte \Rightarrow Tabelle A.22 und nebenstehende Tabelle 4.1

Tabelle 4.1 $1/k_c$ -Werte für den Knicknachweis

λ	S 10	S 13	MS	BS 11	BS 14		BS 16		BS 18	
	MS 10	MS 13	17		k	h	k	h	k	h
30	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
40	1,06	1,06	1,06	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03
50	1,18	1,18	1,17	1,08	1,09	1,11	1,08	1,10	1,08	1,09
60	1,40	1,41	1,38	1,22	1,25	1,29	1,21	1,28	1,22	1,25
70	1,73	1,75	1,70	1,49	1,55	1,62	1,48	1,61	1,50	1,56
80	2,16	2,18	2,11	1,86	1,95	2,05	1,85	2,03	1,88	1,96
90	2,66	2,69	2,60	2,31	2,43	2,55	2,30	2,53	2,33	2,43
100	3,22	3,26	3,15	2,82	2,96	3,12	2,80	3,09	2,84	2,97
110	3,85	3,90	3,76	3,38	3,56	3,74	3,36	3,71	3,41	3,57
120	4,53	4,59	4,43	4,00	4,21	4,43	3,98	4,39	4,03	4,22
130	5,28	5,35	5,15	4,67	4,92	5,18	4,64	5,13	4,71	4,93
140	6,08	6,16	5,94	5,40	5,68	5,99	5,37	5,93	5,44	5,70
150	6,95	7,03	6,78	6,18	6,51	6,85	6,14	6,79	6,23	6,53
160	7,87	7,97	7,68	7,01	7,38	7,78	6,97	7,70	7,07	7,41
170	8,85	8,96	8,63	7,90	8,32	8,76	7,85	8,68	7,96	8,34
180	9,88	10,01	9,64	8,84	9,31	9,81	8,78	9,71	8,91	9,34
190	10,98	11,12	10,71	9,83	10,35	10,91	9,77	10,80	9,91	10,39
200	12,13	12,29	11,83	10,88	11,46	12,07	10,81	11,95	10,96	11,49
210	13,34	13,51	13,01	11,97	12,61	13,29	11,90	13,16	12,07	12,65
220	14,61	14,80	14,25	13,13	13,83	14,57	13,05	14,43	13,23	13,87
230	15,94	16,14	15,54	14,33	15,10	15,91	14,24	15,75	14,44	15,14
240	17,32	17,54	16,89	15,59	16,42	17,31	15,49	17,13	15,71	16,47
250	18,76	19,00	18,30	16,90	17,80	18,76	16,80	18,57	17,03	17,86

Fortsetzung Beispiel aus Abschnitt 4.1.3

gegeben: $F_{c,d} = 40$ kN

Vollholz S 10 $b/h = 100/100$ mm, $l = 2,80$ m

$f_{c,0,d} = 14,5$ N/mm²

$\lambda = 2800 / (0,289 \cdot 100) = 97 \Rightarrow 1/k_c = 3,05$ (vgl. Tabelle 4.1)

$$3,05 \frac{40 \cdot 10^3}{100 \cdot 100} = 12,2 < 14,5 \text{ N/mm}^2$$

4.3.2 Biegeträger mit Kippgefahr

Auch bei Biegeträgern ist der Einfluß von Vorkrümmungen und der zusätzlichen Biegespannungen nach Theorie II. Ordnung zu berücksichtigen. Folgender Nachweis ist zu führen:

$$\frac{\sigma_{m,d}}{k_{crit}} \leq f_{m,d} \tag{4.34}$$

mit

$$k_{crit} = \text{Kippbeiwert (vgl. Bild 4.21)} \tag{4.35}$$

$$= 1 \quad \text{für} \quad \lambda_{rel,m} \leq 0,75$$

$$= 1,56 - 0,75 \lambda_{rel,m} \quad \text{für} \quad 0,75 < \lambda_{rel,m} \leq 1,4$$

$$= 1/\lambda_{rel,m}^2 \quad \text{für} \quad 1,4 < \lambda_{rel,m}$$

Hierbei ist $\lambda_{rel,m}$ der bezogene Kippschlankheitsgrad:

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} \tag{4.36}$$

Für Biegeträger mit Rechteckquerschnitt darf nach dem NAD die kritische Biegespannung $\sigma_{m,crit}$ berechnet werden zu

$$\sigma_{m,crit} = \frac{\pi b^2 E_{0,05}}{I_{ef} h} \sqrt{\frac{G_{mean}}{E_{0,mean}}} \tag{4.37}$$

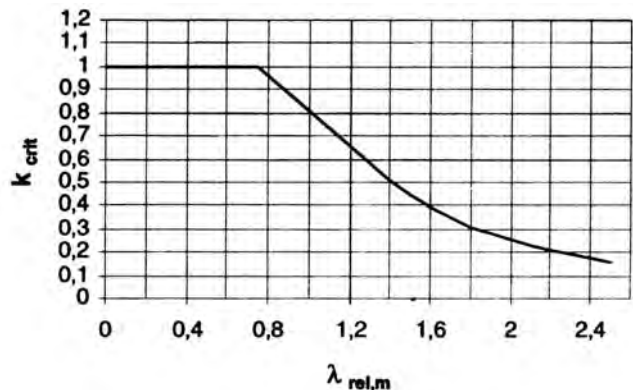


Bild 4.21 Kippbeiwert k_{crit} in Abhängigkeit vom bezogenen Kippschlankheitsgrad $\lambda_{rel,m}$

Fortsetzung Beispiel aus Abschnitt 4.1.6 (nur M_y)

gegeben: $M_{y,d} = 95$ kNm

Brettschichtholz BS18k $b/h = 120/600$ mm,

$l_{ef} = 5,50$ m, $f_{m,d} = 24,9$ N/mm²

$$\lambda_{rel,m} = 0,063 \sqrt{\frac{5500 \cdot 600}{120^2}} = 0,95 \quad \text{(vgl. auch Tabelle 4.2)}$$

$\Rightarrow k_{crit} = 0,84$ (vgl. Bild 4.21)

$$\frac{6 \cdot 95 \cdot 10^6}{0,84 \cdot 120 \cdot 600^2} = 15,7 < 24,9 \text{ N/mm}^2$$

Gl.(4.36) läßt sich vereinfachen zu

$$\lambda_{rel,m} = \kappa_m \sqrt{\frac{l_{ef} \cdot h}{b^2}} \quad (4.38)$$

mit

- κ_m = materialabhängiger Wert (vgl. Tabelle 4.2)
- b = Trägerbreite in mm
- h = Trägerhöhe in mm
- l_{ef} = wirksame Trägerlänge in mm

Für einen gabelgelagerten Einfeldträger mit konstanter Momentenbelastung ist l_{ef} mit der Trägerlänge l identisch.

4.3.3 Druck und Biegung

Wird ein Träger durch Biegemomente und Druckkräfte beansprucht, so sind folgende Nachweise zu führen:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit,y} f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{k_{crit,z} f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (4.39a)$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} f_{c,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit,y} f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{k_{crit,z} f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (4.39b)$$

mit

- $k_m = 0,7$ bei Rechteckquerschnitten
- $= 1,0$ bei anderen Querschnitten

Die übrigen Bezeichnungen können den beiden vorherigen Abschnitten entnommen werden

In diesen Gleichungen wird – im Gegensatz zum EC 5 – neben dem Knickbestreben auch das Kippbestreben der Träger durch die beiden Faktoren $k_{crit,y}$ und $k_{crit,z}$ berücksichtigt (vgl. NAD).

4.4 Nachweise nach der Spannungstheorie II. Ordnung

Beim Tragfähigkeitsnachweis nach der Spannungstheorie II. Ordnung sind die zusätzlichen Biegemomente, die durch die auftretenden Verformungen entstehen, zu berücksichtigen. Hierzu werden am Tragsystem geometrische Imperfektionen angesetzt und die Schnittgrößen iterativ am verformten System unter Berücksichtigung der elastischen Verformungen ermittelt. Hierbei sind die Bemessungswerte der Einwirkungen anzusetzen.

4.4.1 Imperfektionen

Die ungewollte Schiefstellung ϕ bei verschieblichen Rahmen sollte angenommen werden zu:

$$\phi = 0,005 \quad \text{für } h \leq 5 \text{ m} \quad (4.40a)$$

$$\phi = 0,005 \sqrt{\frac{5}{h}} \quad \text{für } h > 5 \text{ m} \quad (4.40b)$$

mit

h = Tragwerkshöhe bzw. Stablänge in m

Die ungewollte Ausmitte e eines Stabes sollte für Vollholz und Brettschichtholz angenommen werden zu:

$$e = 0,003 \cdot l \quad (4.41)$$

mit

l = Stablänge

Tabelle 4.2 Werte κ_m für Vollholz und Brettschichtholz

	S10 MS10	S13	MS13	MS17	BS11	BS14	BS16	BS18
κ_m	0,0642	0,0691	0,0716	0,0735	0,0576	0,0597	0,0615	0,0630

Hinweis:

Nach dem EC5 sind die Knickbeiwerte k_c richtungsabhängig einzusetzen. Bei einachsiger Biegung (um die y-Achse) bedeutet dies, daß auch die Knickbeiwerte $k_{c,y}$ für Knicken um die y-Achse anzusetzen ist. Im Falle von Doppelbiegung werden nach Gl.(4.39) die Biegespannungen voll angesetzt, die zum jeweiligen k_c -Wert passen, während die Biegemomente, die rechtwinklig zum Ausknicken wirken, mit dem Faktor k_m multipliziert werden.

Fortsetzung Beispiel aus Abschnitt 4.1.6

zusätzliche Druckkraft $F_{c,0,d} = 110 \text{ kN}$, $f_{c,0,d} = 21,1 \text{ N/mm}^2$
gegeben: $\sigma_{m,y,d} / f_{m,y,d} = 0,53$, $\sigma_{m,z,d} / f_{m,z,d} = 0,33$

$$\sigma_{c,0,d} / f_{c,0,d} = \frac{110 \cdot 10^3}{120 \cdot 600 \cdot 21,1} = 0,072$$

Biegung um die y-Achse (Knicken in und Kippen aus Bindebene): $s_{k,y} = 12,00 \text{ m}$ und $l_{ef,y} = 4,00 \text{ m}$

$$\lambda_y = \frac{12000}{0,289 \cdot 600} = 69 \Rightarrow 1/k_{c,y} = 1,47$$

$$\lambda_{rel,m,y} = 0,063 \sqrt{\frac{4000 \cdot 600}{120^2}} = 0,81 \Rightarrow k_{crit,y} = 0,95$$

Biegung um die z-Achse (Knicken aus und Kippen in Bindebene): $s_{k,z} = 4,00 \text{ m}$ und $l_{ef,z} = 12,00 \text{ m}$

$$\lambda_z = \frac{4000}{0,289 \cdot 120} = 115 \Rightarrow 1/k_{c,z} = 3,72$$

$$\lambda_{rel,m} = 0,063 \sqrt{\frac{12000 \cdot 120}{600^2}} = 0,126 \Rightarrow k_{crit,z} = 1,0$$

Nachweise:

$$1,47 \cdot 0,072 + \frac{0,53}{0,95} + 0,7 \frac{0,33}{1,0} = 0,89 < 1$$

$$3,72 \cdot 0,072 + 0,7 \frac{0,53}{0,95} + \frac{0,33}{1,0} = 0,99 < 1$$

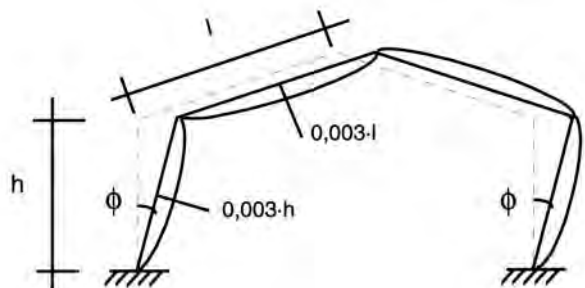


Bild 4.22 Beispiel angenommener Imperfektionen bei einem verschieblichen Rahmen

4.4.2 Materialkennwerte

Da es sich bei einem Stabilitätsnachweis um einen Tragfähigkeitsnachweis handelt, müssen die Nachweise mit den Bemessungswerten der Steifigkeitskennwerte geführt werden. Der Elastizitätsmodul E ist dabei wie folgt zu berechnen:

$$E = k_{mod} \frac{E_{0,05}}{\gamma_M} \tag{4.42}$$

mit
 $E_{0,05}$ charakteristischer Elastizitätsmodul
 k_{mod} nach Abschnitt 2.4.6 bzw. Tabelle A.18
 γ_M nach Abschnitt 2.4.5 bzw. Tabelle A.17

Zur Berücksichtigung der Nachgiebigkeit der Verbindungsmittel ist der Anfangsverschiebungsmodul K_u wie folgt anzusetzen (vgl. NAD):

$$K_u = \frac{2}{3} k_{mod} \frac{K_{ser}}{\gamma_M} \tag{4.43}$$

mit
 K_{ser} = Anfangsverschiebungsmodul für Verformungsberechnungen (vgl. Tabelle A.20)

Es wird darauf hingewiesen, daß das Kriechen grundsätzlich zu berücksichtigen ist. Dies bedeutet, daß die berechneten elastischen Anfangsverformungen mit den zu den verschiedenen Lastanteilen gehörigen Deformationsfaktoren k_{def} zu erhöhen sind. Hierbei sind die Kriechverformungen der einzelnen Lastanteile als zusätzliche Imperfektionen anzusetzen.

4.5 Einzelabstützungen und Verbände

4.5.1 Einzelabstützungen

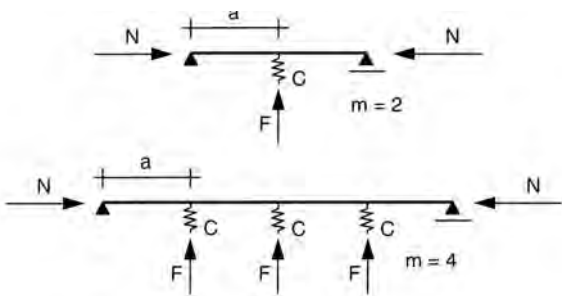


Bild 4.23 Beispiele von Druckstäben mit Einzelabstützungen

Für Einzelabstützungen von Druckstäben und Druckgurten von Biegeträgern nach Bild 4.23 sollten mindestens die nachfolgenden Bemessungslasten F_d angesetzt werden:

$$F_d = N_d / 50 \quad \text{für Vollholz} \tag{4.44a}$$

$$F_d = N_d / 80 \quad \text{für Brettschichtholz} \tag{4.44b}$$

Bei **Druckstäben** entspricht N_d dem Bemessungswert der mittleren Normalkraft. Hierbei sollte die ungewollte Ausmitte (spannungslose Vorkrümmung) zwischen den Einzelabstützungen $a/500$ bei Brettschichtholzstäben und $a/300$ bei anderen Stäben nicht überschreiten (a = Abstand der Einzelabstützungen).

Jede Abstützung sollte dabei folgende Mindest-Federsteifigkeit C aufweisen (vgl. auch Bild 4.23):

$$C = k_s \frac{\pi^2 EI}{a^3} \tag{4.45}$$

mit

$$k_s = 2(1 + \cos \frac{\pi}{m}) \tag{4.46}$$

m = Anzahl der Felder mit der Länge a
 a = Abstand der Einzelabstützungen
 EI = Biegesteifigkeit in Richtung der Abstützung mit E nach Gl.(4.42)

Bei **Biegeträgern** mit Rechteckquerschnitt darf N_d wie folgt berechnet werden:

$$N_d = (1 - k_{crit}) M_d / h \tag{4.47}$$

mit
 k_{crit} Kippbeiwert nach Abschnitt 4.3.2, wobei der nicht ausgesteifte Träger zugrunde zu legen ist,
 M_d Bemessungswert des größten Biegemomentes,
 h Trägerhöhe.

4.5.2 Verbände

Aussteifungsverbände nach Bild 4.24 sind zusätzlich zu etwaigen horizontalen Einwirkungen (z.B. Wind) für folgende Gleichstreckenlast q_d zu bemessen:

$$q_d = k_l \frac{n \cdot N_d}{30 \cdot l} \tag{4.48}$$

mit

$$k_l = \min \left\{ \frac{1}{\sqrt{15} / l} \right\} \tag{4.49}$$

l = Länge der auszusteienden Bauteile
 n = Anzahl der auszusteienden Träger
 N_d = Bemessungswert der mittleren Druckkraft im Träger. Für Biegeträger mit Rechteckquerschnitt gilt Gl.(4.47).

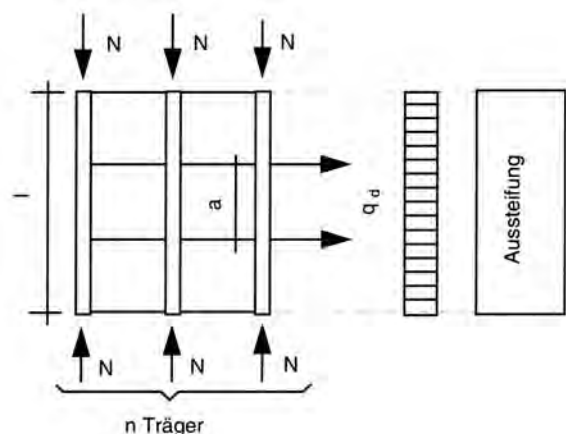


Bild 4.24 Biegeträger mit seitlichen Abstützungen

Für die rechnerischen horizontalen Durchbiegungen des Aussteifungsverbandes werden folgende Grenzwerte empfohlen:

$$\text{Gesamtdurchbiegung:} \quad u_{ges} \leq l/500 \tag{4.50a}$$

bzw.

$$\text{Durchbiegung infolge von } q_d \text{ allein} \quad u_{qd} \leq l/700 \tag{4.50b}$$

5 Verbindungen

5.1 Allgemeines

Der EC5 enthält Angaben zu Nagel-, Klammer-, Bolzen-, Stabdübel-, Holzschrauben- und Nagelplattenverbindungen.

Für die in Zusammenhang mit Bemessung und Konstruktion nach EC5 zu verwendenden Verbindungsmittel werden im NAD in den Anmerkungen zu EC5, Abschn. 6.1, Absatz (P1) weitergehende Regelungen getroffen. Sie werden in dieser Schrift bei der Erläuterung der einzelnen Verbindungsmittel angegeben.

Wegen der speziellen Anwendungsbereiche werden Klammerverbindungen und Nagelplattenverbindungen in diesem Heft nicht weiter behandelt.

Generell sind die folgenden Besonderheiten und Abweichungen von dem bisherigen Bemessungskonzept für Verbindungen nach DIN 1052 zu erwähnen:

- Die Bemessungsregeln für auf Abscheren beanspruchte stiftförmige Verbindungsmittel beruhen auf der plastischen Theorie von Johansen [3]. Nähere Ausführungen hierzu können z.B. einer Veröffentlichung von Ehlbeck/Larsen [4] entnommen werden.

Die Bemessungswerte der Tragfähigkeit werden danach für alle stiftförmigen Verbindungsmittel entsprechend der Einbausituation (einschnittig, zweiseitig, mehrschnittig, Holz-Holz, Holz-Holzwerkstoff, Holz-Stahlblech mit innen- oder außenliegenden Blechen) nach einheitlichen Grundgleichungen ermittelt.

Als Eingangswerte werden verwendet:

- die Holz- bzw. Holzwerkstoffdicken oder die Eindringtiefe des Verbindungsmittels,
- die Bemessungswerte der Lochleibungsfestigkeiten,
- die Durchmesser der Verbindungsmittel,
- der Bemessungswert des FlieBmoments des Verbindungsmittels.
- Da die Bemessungswerte der Lochleibungsfestigkeiten für alle Verbindungsmittel von der charakteristischen Rohdichte der verwendeten Hölzer abhängig sind, können im Gegensatz zu den bisherigen nationalen Regelungen die besseren Eigenschaften des Holzes in höherwertigeren Sortierklassen berücksichtigt werden.
- Bei Bolzen- und Stabdübelverbindungen mit $d > 8$ mm wird der Bemessungswert der Lochleibungsfestigkeit zusätzlich durch den Winkel α zwischen Kraft- und Faserrichtung beeinflusst. Die genannte Grenze kann aus dem EC5 nicht direkt entnommen werden, entspricht aber den theoretischen Grundlagen und korrespondiert mit dem Anwendungsbereich von Nägeln ($d < 8$ mm), für die eine winkelabhängige Abminderung der Lochleibungsfestigkeit nicht erforderlich ist (vgl. auch Ehlbeck/Larsen [4]).
- Für Schraubenverbindungen mit $d < 8$ mm gelten die Regelungen für Nagelverbindungen, bei $d \geq 8$ mm die Regelungen für Bolzenverbindungen.

Die den tatsächlichen Versagensmechanismen besser angepaßten Bemessungsregeln sind allerdings durch die Vielzahl der Variablen aufwendiger anzuwenden als die bisherigen nationalen Regelungen. Auch sind Vereinfachungen nur in sehr beschränktem Umfang möglich. Es werden daher im Weiteren bei der Behandlung der einzelnen Verbindungsmittel nur Tabellen mit Zahlenwerten zu einigen ausgewählten, in der Praxis häufig vorkommenden Fällen angegeben. Die Verwendung von weiterführenden Bemessungshilfen ist zu empfehlen.

Allgemeine Anwendungsregeln für Verbindungsmittel sind in EC 5 Abschnitt 6.1 enthalten. Besonders zu erwähnen sind:

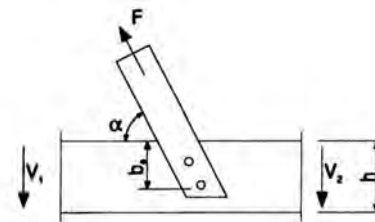
- Die Reduzierung der Tragfähigkeit einer Verbindung mit vielen in Krafrichtung hintereinander liegenden Verbindungsmitteln ist außer bei Nagelverbindungen zu berücksichtigen.
- Bei dem Zusammenwirken unterschiedlicher Verbindungsmittel in einer Verbindung sind die Unterschiede in der Nachgiebigkeit der Verbindungsmittel zu berücksichtigen.
- Leime und mechanische Verbindungsmittel sollen nicht als gleichzeitig wirksam angenommen werden.
- Die Reduzierung der Tragfähigkeit einer Verbindung bei wechselnden Richtungen von Lasten langer und mittlerer Dauer ist zu beachten. Wechselnde Beanspruchungen zwischen Zugkräften F_t und Druckkräften F_c sollen durch die Bemessung für den jeweils größeren Wert aus

$$F_{t,d} + 0,5 F_{c,d} \quad (5.1)$$

$$F_{c,d} + 0,5 F_{t,d} \quad (5.2)$$

berücksichtigt werden.

- Die Mindestwerte der Rand- und Verbindungsmittelabstände sind zu berücksichtigen.
- Bei Abweichungen der Krafrichtung von der Faserrichtung sind die auftretenden Querkzugspannungen zu berücksichtigen (vgl. Bild 5.1)



Voraussetzung: $b_e > 0,5 h$

Bild 5.1 Vereinfachter Querkzugnachweis

$$V_d \leq 2 f_{v,d} b_e t / 3 \quad (5.3)$$

mit V_d Bemessungswert der Querkraft, die im Bauteil der Dicke t durch die Verbindungsmittel erzeugt wird.

t Dicke des querbeanspruchten Holzes

$f_{v,d}$ Bemessungswert der Scherfestigkeit

- Der Anfangsverschiebungsmodul K_u pro Scherfuge und stiftförmigem Verbindungsmittel sollte für den Nachweis im Grenzzustand der Tragfähigkeit angenommen werden zu:

$$K_u = 2 K_{ser} / 3 \quad (5.4)$$

Die Werte für K_{ser} sind in Tabelle A.20 angegeben.

Querschnittsschwächungen durch Verbindungsmittel sind entsprechend den Angaben in Abschn. 2.5 zu berücksichtigen.

Für die Ausführung von **Versätzen** gilt DIN 1052 Teil 2, Abschn. 12, da im EC 5 keine Regelungen angegeben sind (vgl. Abschn. 1.6 und NAD, Abschn. D.8)

Für die **Ausführung von Verbindungen mit mechanischen Verbindungsmitteln** werden zusätzliche Regeln in EC5 Abschnitt 7.4 angegeben. Sie werden in diesem Heft in den jeweiligen Abschnitten zitiert.

Dübel besonderer Bauart entsprechend DIN 1052 Teil 2, Abschnitt 4.3 werden im EC 5 nicht behandelt, da bisher weder die europäische Produktnorm prEN 912 noch die vorgesehene europäische Norm über die charakteristischen Tragfähigkeiten und Verschiebungsmoduln fertiggestellt ist. Im NAD wird daher in Anlage D, Abschnitt 07, die Regelung getroffen, daß eine Bemessung nach DIN 1052 mit folgenden Ergänzungen zulässig ist (vgl. auch Abschn. 1.6):

- für die Dübeltypen A und B (DIN 1052 Teil 2, Tab. 4) sowie D und E (DIN 1052 Teil 2, Tab. 7) wird die Mindestholzdicke für Dübeldurchmesser $d_d \geq 80$ mm bei beidseitiger Anordnung auf $a = 80$ mm erhöht
- für den Dübeltyp C gilt die entsprechende Regelung für Außendurchmesser bzw. Seitenlänge $d_d \geq 80$ mm.

Balkenschuhe oder andere Stahlblechformteile werden im EC 5 ebenfalls nicht behandelt. Derzeit sind jedoch bereits Erweiterungen von Zulassungen für Balkenschuhe und Balkenträger beantragt, so daß zukünftig in den bauaufsichtlichen Zulassungen auch charakteristische Werte enthalten sein werden, die eine durchgängige Bemessung nach EC 5 ermöglichen.

5.2 Tragfähigkeit auf Abscheren beanspruchter, stiftförmiger Verbindungsmittel

Die Bemessungsregeln werden unterschieden nach:

- ein- und zweischnittigen Holz-Holz- und Holzwerkstoff-Holz-Verbindungen,
- ein- und zweischnittigen Stahlblech-Holz-Verbindungen mit dünnen und dicken Stahlblechen,
- mehrschnittigen Verbindungen.

Sie gelten für Nägel (Abschn. 5.3), Klammern (Abschn. 5.4), Bolzen (Abschn. 5.5), Stabdübel (Abschn. 5.6) und Holzschrauben (Abschn. 5.7).

Die in den Tabellen angegebenen Bemessungswerte R_d gelten grundsätzlich **pro Scherfuge** und **pro Verbindungsmittel**. Für die Bemessung ist jeweils der kleinste der ermittelten Werte maßgebend!

5.2.1 Holz-Holz- und Holzwerkstoff-Holz-Verbindungen


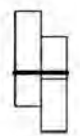
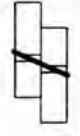
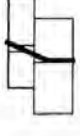
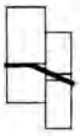

In den nachfolgenden Tabellen sind die Versagensmechanismen, die zugehörigen Bemessungsgleichungen, die Gleichungsnummern nach EC5 und die in diesem Heft verwendete Gleichungsnummer angegeben. Es bedeuten:

- t_1 und t_2 Holz- bzw. Holzwerkstoffdicken oder Eindringtiefe des Verbindungsmittels (vgl. Abschn. 5.3 ff)
- $f_{h,1,d}$ ($f_{h,2,d}$) Bemessungswerte der Lochleibungsfestigkeiten in t_1 (t_2)
- $f_{h,i,d} = k_{mod,i} \cdot f_{h,i,k} / \gamma_M$ ($i = 1$ oder 2) (5.5)
- $\beta = f_{h,2,d} / f_{h,1,d}$ (5.6)
- d Durchmesser des Verbindungsmittels
- $M_{y,d}$ Bemessungswert des Fließmoments des Verbindungsmittels
- $M_{y,d} = M_{y,k} / \gamma_M$ (5.7)

Die Werte für k_{mod} sind in Tabelle A.18, für γ_M in Tabelle A.17 angegeben.

Die Bemessungswerte der Lochleibungsfestigkeiten und der Fließmomente der Verbindungsmittel errechnen sich Je nach Art des Verbindungsmittels entsprechend den Angaben in den nachfolgenden Kapiteln.

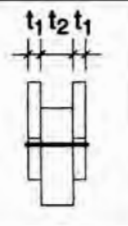
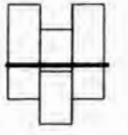
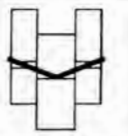
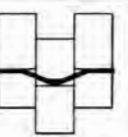
Tabelle 5.1 Bemessungswerte der Tragfähigkeit R_d [N] eines **einschnittig** beanspruchten Verbindungsmittels in **Holz/Holz- und Holzwerkstoff/Holz-** Verbindungen **pro** Scherfuge und Verbindungsmittel

Versagensart	R_d in [N]
	$f_{h,1,d} \cdot t_1 \cdot d$ (5.8)
	$f_{h,1,d} \cdot t_2 \cdot d \cdot \beta$ (5.9)
	$\frac{f_{h,1,d} \cdot t_1 \cdot d}{1 + \beta} \cdot \left[\sqrt{\beta + 2 \cdot \beta^2 \cdot \left[1 + \frac{t_2}{t_1} + \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2 \right]} + \beta^3 \cdot \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2 - \beta \cdot \left(1 + \frac{t_2}{t_1} \right) \right]$ (5.10)
	$1,1 \cdot \frac{f_{h,1,d} \cdot t_1 \cdot d}{2 + \beta} \cdot \left[\sqrt{2 \cdot \beta \cdot (1 + \beta) + \frac{4 \cdot \beta \cdot (2 + \beta) \cdot M_{y,d}}{f_{h,1,d} \cdot d \cdot t_1^2}} - \beta \right]$ (5.11)
	$1,1 \cdot \frac{f_{h,1,d} \cdot t_2 \cdot d}{1 + 2 \cdot \beta} \cdot \left[\sqrt{2 \cdot \beta^2 \cdot (1 + \beta) + \frac{4 \cdot \beta \cdot (1 + 2\beta) \cdot M_{y,d}}{f_{h,1,d} \cdot d \cdot t_2^2}} - \beta \right]$ (5.12)
	$1,1 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \beta}{1 + \beta}} \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,d} \cdot f_{h,1,d} \cdot d}$ (5.13)
Die Gleichungen entsprechen EC 5 : Gl. 6.2.1a - 6.2.1f	

Die Gleichungen (5.8–5.9) und die Gleichungen (5.14–5.15) beschreiben den Fall des Lochleibungsversagens jeweils in einem der Holzquerschnitte. Sie werden nur bei sehr geringen Holzstärken und gleichzeitig geringer Rohdichte der Hölzer maßgebend. Die Gleichung (5.10) beschreibt den Fall des gleichzeitigen Lochleibungsversagens in beiden Holzquerschnitten. Bei zweischnittigen Verbindungen entsteht zusätzlich ein Fließgelenk im Verbindungsmittel, daher ist in Gleichung (5.16) der Bemessungswert des Fließmomentes des Verbindungsmittels $M_{y,d}$ enthalten.

Bei einschnittigen Verbindungen wird Gleichung (5.10) nur bei einem Verhältnis von $d/t \leq \text{ca. } 12$ und geringen Rohdichten der Hölzer maßgebend. Die Gleichungen (5.11–5.13) und (5.16–5.17) beschreiben das Entstehen von Fließgelenken im Verbindungsmittel bei gleichzeitiger Überschreitung der Lochleibungsfestigkeit. Sie werden in den meisten Fällen maßgebend.

Tabelle 5.2 Bemessungswerte der Tragfähigkeit R_d [N] eines **zweischnittig** beanspruchten Verbindungsmittels in **Holz/Holz- und Holzwerkstoff/Holz-** Verbindungen **pro** Scherfuge und Verbindungsmittel

Versagensart	R_d in [N]
	$f_{h,1,d} \cdot t_1 \cdot d$ (5.14)
	$0,5 \cdot f_{h,1,d} \cdot t_2 \cdot d \cdot \beta$ (5.15)
	$1,1 \cdot \frac{f_{h,1,d} \cdot t_1 \cdot d}{2 + \beta} \cdot \left[\sqrt{2\beta \cdot (1 + \beta) + \frac{4\beta \cdot (2 + \beta) \cdot M_{y,d}}{f_{h,1,d} \cdot d \cdot t_1^2}} - \beta \right]$ (5.16)
	$1,1 \cdot \sqrt{\frac{2\beta}{1 + \beta}} \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,d} \cdot f_{h,1,d} \cdot d}$ (5.17)
Die Gleichungen entsprechen EC 5: Gl. 6.2.1g - 6.2.1k	

5.2.2 Stahlblech-Holz-Verbindungen

Bei Stahlblech-Holz-Verbindungen werden ein- und zweischnittige Verbindungen mit innen- oder außenliegenden Blechen unterschieden.

Bei außenliegenden Blechen wird weiter unterschieden nach Verbindungen mit dünnen Stahlblechen ($t \leq 0,5d$, $t = \text{Blechdicke}$) und dicken Stahlblechen ($t \geq d$). Für Blechdicken im Bereich $0,5d < t < d$ darf geradlinig interpoliert werden.

In Tabelle 5.3 sind die Gleichungen zur Ermittlung der Bemessungswerte der Tragfähigkeit für einschnittige Verbindungen mit außenliegenden, dünnen (5.18–5.19) und dicken (5.20–5.21) Stahlblechen zusammengefaßt.






In Tabelle 5.4 sind die Gleichungen für Verbindungen mit innenliegenden Stahlblechen angegeben, bei denen nicht zwischen dünnen und dicken Blechen unterschieden wird.

Bei zweischnittigen Verbindungen mit außenliegenden Stahlblechen wird analog zu den Regelungen bei einschnittigen Verbindungen wieder zwischen Verbindungen mit dünnen und dicken Stahlblechen unterschieden (vgl. Tabelle 5.5).

Bei allen Stahlblech-Holz-Verbindungen sollte die Tragfähigkeit der Stahlbleche nachgewiesen werden. Der Nachweis kann entsprechend ENV 1993-1-1 in Zusammenhang mit dem zugehörigen NAD oder alternativ nach DIN 18800 Teil 1 erfolgen (NAD, 6.2.2 Absatz (5)).

Die Unterscheidung bei außenliegenden Blechen in dünne ($t \leq 0,5d$) und dicke ($t \geq d$) Bleche wird durch das unterschiedliche Verformungsverhalten der Verbindungsmittel notwendig.

Tabelle 5.3 Bemessungswerte der Tragfähigkeit R_d [N] eines **einschnittig** beanspruchten Verbindungsmittels in **Stahlblech/Holz-** Verbindungen **pro** Scherfuge und Verbindungsmittel

Versagensart	R_d in [N]
	$(\sqrt{2} - 1) \cdot f_{h,1,d} \cdot t_1 \cdot d$ ($t \leq 0,5 d$) (5.8)
	$1,1 \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,d} \cdot f_{h,1,d} \cdot d}$ ($t \leq 0,5 d$) (5.9)
	$f_{h,1,d} \cdot t_1 \cdot d$ ($t \geq d$) (5.10)
	$1,1 \cdot f_{h,1,d} \cdot t_1 \cdot d \cdot \sqrt{2 + \frac{4 \cdot M_{y,d}}{f_{h,1,d} \cdot d \cdot t_1^2} - 1}$ ($t \geq d$) (5.21)
	$1,5 \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,d} \cdot f_{h,1,d} \cdot d}$ ($t \geq d$) (5.22)
Für $0,5d < t < d$ darf geradlinig interpoliert werden, $t = \text{Blechdicke}$. Die Gleichungen entsprechen EC 5: Gl. 6.2.2a - 6.2.2d (außer Gl. 5.20) 1) Gleichung 5.20 ist im EC5 und im NAD nicht vorgesehen, sollte aber zusätzlich untersucht werden, vgl. Ehlbeck/Larsen [4]	

Bei dünnen Blechen entsteht keine Einspannung für das Verbindungsmittel, so daß sich in der Scherfuge kein Fließgelenk bildet, sondern nur eine Verdrehung des Verbindungsmittels auftritt. Daher sind in Tabelle 5.5 die Gleichungen (5.26) und (5.28) identisch, sie beschreiben den Fall des Lochleibungsveragens im Holzquerschnitt. Ein Unterschied besteht nur zwischen den Gleichungen (5.27) und (5.29). Das Entstehen zweier zusätzlicher Fließgelenke in den Scherfugen durch die Einspannung des Verbindungsmittels im Blech wird durch die Erhöhung des Faktors "1,1" aus Gleichung (5.27) auf "1,5" in Gleichung (5.29) berücksichtigt.

Tabelle 5.4 Bemessungswerte der Tragfähigkeit R_d [N] eines **zweischnittig** beanspruchten Verbindungsmittels in **Stahlblech/Holz**-Verbindungen mit innenliegendem Stahlblech pro Scherfuge und Verbindungsmittel








Versagensart	R_d in [N]
	$f_{h,1,d} \cdot t_1 \cdot d$ (5.23)
	$1,1 \cdot f_{h,1,d} \cdot t_1 \cdot d \cdot \left[\sqrt{2 + \frac{4 \cdot M_{y,d}}{f_{h,1,d} \cdot d \cdot t_1^2}} - 1 \right]$ (5.24)
	$1,5 \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,d} \cdot f_{h,1,d} \cdot d}$ (5.25)
Die Gleichungen entsprechen EC 5: Gl. 6.2.2e - 6.2.2g	

Tabelle 5.5 Bemessungswerte der Tragfähigkeit R_d [N] eines **zweischnittig** beanspruchten Verbindungsmittels in **Stahlblech/Holz**-Verbindungen mit außenliegendem Stahlblech pro Scherfuge und Verbindungsmittel

Versagensart	R_d in [N]
	$0,5 \cdot f_{h,2,d} \cdot t_2 \cdot d$ ($t \leq 0,5 d$) (5.26)
	$1,1 \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,d} \cdot f_{h,2,d} \cdot d}$ ($t \leq 0,5 d$) (5.27)
	$0,5 \cdot f_{h,2,d} \cdot t_2 \cdot d$ ($t \geq d$) (5.28)
	$1,5 \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,d} \cdot f_{h,2,d} \cdot d}$ ($t \geq d$) (5.29)
Für $0,5d < t < d$ darf geradlinig interpoliert werden, t = Blechdicke. Die Gleichungen entsprechen EC 5: Gl. 6.2.2h - 6.2.2l	

5.2.3 Mehrschnittige Verbindungen

Die Gesamttragfähigkeit mehrschnittiger Verbindungen wird als Summe der Mindesttragfähigkeiten aller Scherfugen bestimmt. Der Bemessungswert der Tragfähigkeit je Scherfuge ist aus den jeweiligen Gleichungen für zweischchnittige Verbindungen zu ermitteln (vgl. Tab. 5.2, 5.4 und 5.5). Zur Erläuterung ist in Bild 5.2 eine vierschnittige Stahlblech-Holz-Verbindung mit zwei innenliegenden Stahlblechen dargestellt.

Die mit **A** bezeichnete, **außenliegende Scherfuge** wird als Teil einer zweischchnittigen Verbindung mit innenliegendem Stahlblech betrachtet. Zur Berechnung des Bemessungswertes der Tragfähigkeit sind die Gleichungen (5.23–5.25) mit $t_1 = t_2$ zu verwenden!

Die mit **B** bezeichnete, **innenliegende Scherfuge** wird als Teil einer zweischchnittigen Verbindung mit außenliegenden, dicken Stahlblechen betrachtet. Zur Berechnung des Bemessungswertes der Tragfähigkeit sind die Gleichungen (5.28–5.29) mit $t_2 = t_i$ zu verwenden. Die Gleichungen für außenliegende dicke Bleche werden hier unabhängig von der vorhandenen Blechdicke verwendet. Durch die tatsächliche Lage der dünnen Bleche innerhalb des Holzes stellen sich Verformungsfiguren analog der Verformungen bei dicken Blechen ein, da sich wie bei Verbindungen mit dicken, außenliegenden Blechen ein Fließgelenk des Verbindungsmittels in der Scherfuge bildet.

Bei Anwendung der genannten Kombination der Gleichungen ergeben sich für alle möglichen Versagensfälle sinnvolle, kontinuierliche Verformungsfiguren für das Verbindungsmittel. Sie können nach erfolgter Berechnung zur Plausibilitätskontrolle herangezogen werden. Der Bemessungswert der Tragfähigkeit eines Stabdübels beträgt damit:

$$R_{d, \text{Dübel}} = 2 R_{d,A} + 2 R_{d,B} \quad (5.30)$$

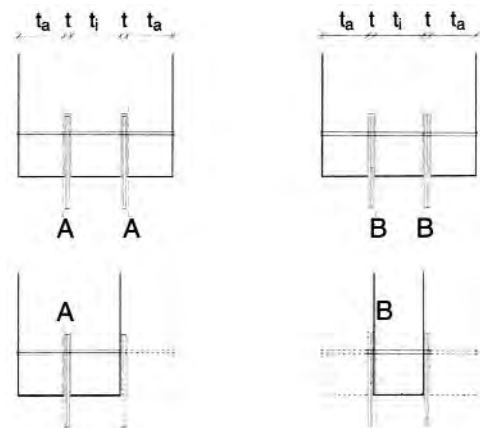


Bild 5.2 Berechnungsverfahren für mehrschnittige Verbindungen

5.2.4 Hinweise zur Berechnung

Aus der o.a. Vielzahl der Gleichungen ist zu ersehen, daß ein erheblicher Rechenaufwand notwendig ist, um den für die Bemessung einer Verbindung maßgebenden, kleinsten Bemessungswert der Tragfähigkeit zu ermitteln. Vereinfachungen sind kaum sinnvoll vorzunehmen, da die Rohdichte der verwendeten Hölzer oder Holzwerkstoffe die Lochleibungsfestigkeit beeinflusst, z.B. bei einer Nagelverbindung zwischen Nadelholz der Sortierklasse S 10 nach DIN 4074 ($\rho_k = 380 \text{ kg/m}^3$, vgl. Tab. A.6) und Brettschichtholz der Festigkeitsklasse BS 11 ($\rho_k = 410 \text{ kg/m}^3$, vgl. Tab. A.7).

Für den Sonderfall gleicher Lochleibungsfestigkeiten ($\beta = 1$) kann zumindest durch die Benutzung modifizierter Möller-Diagramme [5] der Rechenaufwand bis zur Ermittlung des maßgebenden Wertes verkürzt werden.

Zur direkten Verwendung werden in den Tabellen A.24–A.39 ausgewählte Zahlenwerte für den Bemessungswert der Tragfähigkeit R_d angegeben. Bei weiteren Berechnungen empfiehlt sich jedenfalls eine EDV-unterstützte Bemessung.

5.3 Nagelverbindungen

5.3.1 Allgemeines

Entsprechend den Regelungen im NAD dürfen im Zusammenhang mit EC5 runde Draht- und Maschinenstifte nach DIN 1052 Teil 2 als glattschaftige Nägel verwendet werden. Die Regelungen der beiden ersten Absätze des Abschn. 6.1, DIN 1052 Teil 2 gelten in vollem Umfang.

Es dürfen **Sondernägel** entsprechend DIN 1052 Teil 2, Abschn. 6.1, Bild 13 verwendet werden, die nach DIN 1052 Teil 2, Anhang A, in eine Tragfähigkeitsklasse eingestuft sind. Die Kopffläche von Sondernägeln muß mind. $2,5 d_n^2$ betragen.

Die Regelungen des EC5 gelten für Nägel bis zu einem Nageldurchmesser von **$d = 8 \text{ mm}$** .

Die Regelungen für Holz-Holz- und Holzwerkstoff-Holz-Verbindungen im EC5 gelten nur für Nägel mit Kopfdurchmesser $> 2d$, nach NAD ist jedoch abweichend ein Kopfdurchmesser $1,8d$ zulässig. Für Stifte ohne Kopf oder Nägel mit ovaler Kopfform sollen die Bemessungswerte der Tragfähigkeit für Verbindungen mit Spanplatten und Faserplatten auf die Hälfte abgemindert werden.

Als **Ausführungsanweisungen** werden in EC5 Abschn. 6.3 geregelt:

- Bei Nagelverbindungen von Bauholz mit einer Rohdichte $\rho_k \geq 500 \text{ kg/m}^3$ (vgl. Tab. A6, A7) sind die Nagelverbindungen vorzubohren. Dies gilt generell für Douglasien-Holz (NAD).
- Eine Verbindung sollte mind. 2 Nägel enthalten.
- Die Mindesteinschlagtiefen sind in Tabelle 5.6 zusammengefaßt. Sie sind notwendig um eine ausreichende Haftung der Nägel im Holzteil zu erreichen.

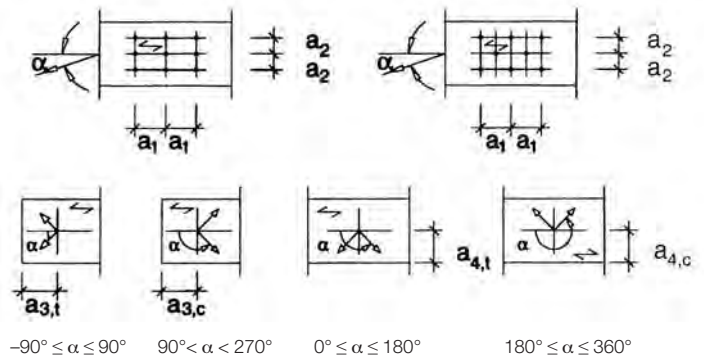
Tabelle 5.6 Mindesteinschlagtiefen für glattschaftige Nägel und Sondernägel

Nagelart	Beanspruchung auf	
	Abscheren	Herausziehen
glattschaftig	$l \geq 8d$	$l \geq 12d$
Sondernägel	$l \geq 6d$	$l \geq 8d$

- Die einzuhaltenden Nagelabstände sind in Tabelle 5.7 zusammengefasst, die zugehörigen Definitionen sind Bild 5.3 zu entnehmen.

Für die Berechnung der Nagelabstände in Brettschichtholz darf abweichend von der tatsächlich vorhandenen Rohdichte für alle Brettschichtholz-Festigkeitsklassen eine Rohdichte $\rho_k \leq 420 \text{ kg/m}^3$ zugrunde gelegt werden (NAD).

Bei **quadratischen Nägeln** sollte nach EC5 d als die Seitenabmessung des Nagelquerschnitts angenommen werden.



- a_1 Verbindungsmittelabstand untereinander in Faserrichtung
- a_2 Verbindungsmittelabstand untereinander rechtwinklig zur Faserrichtung
- $a_{3,t}$ Verbindungsmittelabstand vom belasteten Rand in Faserrichtung
- $a_{3,c}$ Verbindungsmittelabstand vom unbelasteten Rand in Faserrichtung
- $a_{4,t}$ Verbindungsmittelabstand vom belasteten Rand rechtwinklig zur Faserrichtung
- $a_{4,c}$ Verbindungsmittelabstand vom unbelasteten Rand rechtwinklig zur Faserrichtung
- α Winkel zwischen Kraft und Faserrichtung

Bild 5.3 Definitionen der Verbindungsmittelabstände

Tabelle 5.7 Mindestnagelabstände nach EC5 für alle Anwendungsfälle^{2,3,4,5}

Bez.	nicht vorgebohrt Vollholz mit $\rho_k \leq 420 \text{ kg/m}^3$ und Brettschichtholz	nicht vorgebohrt Vollholz mit $420 < \rho_k < 500 \text{ kg/m}^3$	vorgebohrt
a_1	für $d < 5 \text{ mm}$: $(5+5 \cos \alpha) d$ für $d \geq 5 \text{ mm}$: $(5+7 \cos \alpha) d$	$(7+8 \cos \alpha) d$	$(4+3 \cos \alpha) d^{1)}$
a_2	$5d$	$7d$	$(3+ \sin \alpha) d$
$a_{3,t}$	$(10+5 \cos \alpha) d$	$(15+5 \cos \alpha) d$	$(7+5 \cos \alpha) d$
$a_{3,c}$	$10d$	$15d$	$7d$
$a_{4,t}$	$(5+5 \sin \alpha) d$	$(7+5 \sin \alpha) d$	$(3+4 \sin \alpha) d$
$a_{4,c}$	$5d$	$7d$	$3d$

1) a_1 darf auf $(4 + |\cos \alpha|) d$ verringert werden, wenn $f_{v,k}$ mit $\sqrt{a_1/(4+3|\cos \alpha|)d}$ abgemindert wird.
 2) Mindestnagelabstände für Sperrholz: Tabellenwerte x 0,85
 Mindestrandabstände für Sperrholz:
 $a_{3,c}$ bzw. $a_{4,c} = 3 d$
 $a_{3,t}$ bzw. $a_{4,t} = (3+4 \sin \alpha) d$
 3) Mindestnagelabstände für Stahlblech-Holz-Nagelverbindungen:
 Tabellenwerte x 0,7
 4) Die Tabellenwerte gelten auch für in Schaftrichtung beanspruchte Nägel
 5) Bei Brettschichtholz darf für die Bestimmung der Nagelabstände $\rho_k \leq 420 \text{ kg/m}^3$ für alle Festigkeitsklassen zugrunde gelegt werden

- Nägel in Hirnholz dürfen nur für untergeordnete Bauteile, z.B. Gesimsbretter, und nur unter Ansatz von $1/3$ des Bemessungswertes der Tragfähigkeit verwendet werden. Eine Beanspruchung in Schaftrichtung darf nicht in Rechnung gestellt werden.

- Für Nagelverbindungen ohne Vorbohren sind Mindestholzdicken einzuhalten, um ein Aufspalten der Verbindung zu verhindern, da dies zu einer unzulässigen Reduzierung der Tragfähigkeit der Verbindungen führt:

$$b = t = \max. \left\{ \begin{array}{l} 7d \\ (13d - 30) \cdot \rho_k / 400 \end{array} \right. \quad (5.31a \text{ und } 5.31b)$$

In Bild 5.4 ist die Abhängigkeit der Mindestholzdicke von der Holzart (und damit der Rohdichte) und dem Nageldurchmesser dargestellt.

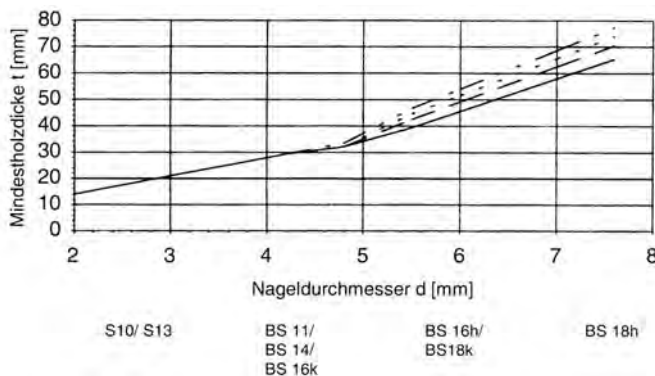


Bild 5.4 Mindestholzdicke bei Nagelverbindungen ohne Vorbohren

- Wenn in ein Mittelteil von beiden Seiten Nägel in nicht vorgebohrte Löcher eingeschlagen werden und sich die Nägel übergreifen, muß die Mindestdicke des Mittelteils $b_2 \geq 4d + l$ betragen (vgl. Bild 5.5), mit $d =$ Nageldurchmesser, $l =$ Eindringtiefe des Nagels

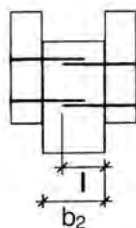


Bild 5.5 Mindestdicke eines Mittelteils bei beidseitiger übergreifender Nagelung

Eine **Reduzierung der Tragfähigkeit** des einzelnen Nagels in Verbindungen mit vielen Nägeln in Krafrichtung hintereinander ist entsprechend neuer Untersuchungsergebnisse nicht mehr notwendig und in EC5 nicht vorgesehen.

Ergänzend wird in EC5, Abschn. 7.4 und abweichend im NAD festgelegt:

- Nägel sollen rechtwinklig zur Holzfaserrichtung und bündig eingeschlagen werden.
- Der Durchmesser vorgebohrter Löcher für Nägel sollte etwa $0,9 d$ betragen (NAD). In Stahlblechen darf er bis zu 1 mm größer sein als der Nenndurchmesser (NAD).

5.3.2 Beanspruchung rechtwinklig zur Nagelachse

Die Berechnung der Bemessungswerte der Tragfähigkeit erfolgt nach den Gleichungen in Abschnitt 5.2. Besonders hinzuweisen ist auf die Definition der Formelzeichen t_1 und t_2 :

t_1 ist die Holzdicke b_1 auf der dem Nagelkopf zugewandten Seite, bei zweischnittigen Verbindungen jedoch der kleinere Wert dieser Holzdicke und der Einschlagtiefe des Nagels. Die Nichtbeachtung dieser Regel kann zu erheblichen Fehlern bei der Berechnung führen!

t_2 Einschlagtiefe des Nagels bei einschnittigen Verbindungen und Dicke des Mittelholzes bei zweischnittigen Verbindungen

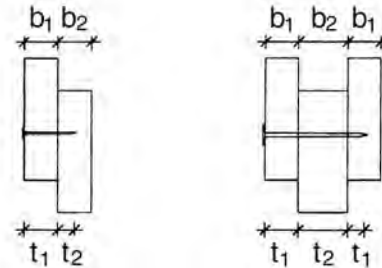


Bild 5.6 Definitionen von t_1 und t_2

Die Gleichungen (5.8–5.17) gelten für Beanspruchungen rechtwinklig zur Nagelachse für Holz/Holz- und Holzwerkstoff/Holz-Nagelverbindungen mit Abweichungen bei der Lochleibungsfestigkeit für Sperrholz und Hartfaserplatten und bei verringerten Nagelabständen für Sperrholz.

Für Spanplatten liegen derzeit keine Berechnungsformeln für die Lochleibungsfestigkeit vor.

Bei Nagelungen mit Stahlblechen gelten die Gl.(5.18) bis (5.29)

Die Gleichungen zur Berechnung der charakteristischen Werte der Lochleibungsfestigkeiten sind in Tabelle 5.8 und des Fließmoments in Tabelle 5.9 enthalten.

Tabelle 5.8 Charakteristische Lochleibungsfestigkeit $f_{h,k}$ in $[\text{N}/\text{mm}^2]$

Werkstoff	$f_{h,k} [\text{N}/\text{mm}^2]$
VH, BSH	
- nicht vorgebohrt	$0,082 \rho_k d^{-0,3}$ (5.33)
- vorgebohrt	$0,082 (1 - 0,01 d) \rho_k$ (5.34)
Bau-Furniersperrholz	$0,11 \rho_k d^{-0,3}$ (5.35)
Hartfaserplatten	$30 d^{-0,3} t^{0,6}$ (5.36)
$\rho_k [\text{kg}/\text{m}^3]$; $d [\text{mm}]$, Plattendicke $t [\text{mm}]$	

Tabelle 5.9 Charakteristische Werte des Fließmoments $M_{y,k}$ in $[\text{Nmm}]$

Art des Nagels	$M_{y,k} [\text{Nmm}]$
runder Nagel	$180 d^{2,6}$ (5.37)
quadratischer Nagel	$270 d^{2,6}$ (5.38)
$d [\text{mm}]$, bei Sondernägeln der \varnothing des glattschaftigen Teils	

Da in allen Bemessungsgleichungen der Tabellen 5.1 bis 5.5 der Bemessungswert der Lochleibungsfestigkeit eingeht, ändern sich die Bemessungswerte der Tragfähigkeiten in Abhängigkeit von den Nutzungsklassen durch die Berücksichtigung der zugehörigen k_{mod} -Werte.

Der Winkel α zwischen Kraft und Faserrichtung beeinflusst die Tragfähigkeit der Nägel nicht.

Aus der Vielzahl der daraus resultierenden Kombinationsmöglichkeiten wurden für die im Anhang enthaltenen Tabellen mit Bemessungswerten der Tragfähigkeit von Nägeln bei Beanspruchung rechtwinklig zur Nagelachse folgende praxisrelevanten Fälle ausgewählt:

- Für Holz/Holz- und Holz/Sperrholz-Verbindungen sind die k_{mod} -Werte der jeweiligen Nutzungsklassen (vgl. Tab. A.18) für Vollholz, Brettschichtholz und Bau-Furniersperrholz identisch, durch die unterschiedlichen Lochleibungsfestigkeiten ergeben sich aber unterschiedliche Bemessungswerte der Tragfähigkeit (Tab. A.24–A.31).
- Die k_{mod} -Werte wurden mit 0,6 und 0,9 angenommen. Damit ist der Anwendungsbereich zwischen Lasten kurzer und ständiger Dauer bei Ausgleichsfeuchten $u_m \leq 20\%$ (alle Bauwerke, außer frei bewitterte Konstruktionen) abgedeckt.
- Es werden die Bemessungswerte für $\rho_k = 380 \text{ kg/m}^3$ und $\rho_k = 430 \text{ kg/m}^3$ angegeben. Die Werte gelten damit für den Anwendungsbereich von Vollholz der Sortierklasse S 10 nach DIN 4074 bis zu Brettschichtholz der Sortierklasse BS 18 k (vgl. Tab. A.6 und A.7)

Voraussetzungen für die Anwendung der Tabellen A.24–A.27 sind:

- die Rohdichten der zu verbindenden Hölzer sind gleich, und
- die Holzdicke b_2 ist größer oder gleich b_1 (Bild 5.6).

Es wird nochmals auf die Definition von t_1 und t_2 verwiesen (vgl. Abschn. 5.3.2, Absatz 1). Für t_2 und t_1 müssen die Mindesteinschlagtiefen (Tab. 5.6) eingehalten werden. Ist dies nicht der Fall, sind im EC5 **keine** Abminderungsregeln angegeben. Wird also bei einer zweischnittigen Verbindung die Mindesteinschlagtiefe t_1 nicht eingehalten, so ist sie wie eine einschnittige Verbindung zu berechnen.

Zwischen den Tabellenwerten der Tabellen A.24 und A.25 sowie der Tabellen A.26 und A.27 kann jeweils linear interpoliert werden. Die Interpolation kann sich sowohl auf unterschiedliche Werte der Rohdichte bei gleichen k_{mod} -Werten innerhalb einer Tabelle, als auch auf die Interpolation zwischen den unterschiedlichen k_{mod} -Werten zwischen zwei Tabellen beziehen. Eine Kombination ist zulässig.

Beispiel für Interpolation der Tabellenwerte

Geometrie siehe Bild 5.7, einschnittige Verbindung, Nä 2,8x 65, nicht vorgebohrt, $b_1 = b_2 = 40 \text{ mm}$
Annahmen: VH MS 13 $\Rightarrow \rho_k = 400 \text{ kg/m}^3$, Lasteinwirkungsdauer "mittel", Nutzungsklasse 2 $\Rightarrow k_{mod} = 0,8$ (vgl. Tab. A.6, A.18)
Interpolation bezüglich der Rohdichte

Tabelle A.24, $k_{mod} = 0,6$ $\rho_k = 380 \text{ kg/m}^3 \Rightarrow R_d = 0,37 \text{ kN}$
 $\rho_k = 430 \text{ kg/m}^3 \Rightarrow R_d = 0,40 \text{ kN}$

Lineare Interpolation bzgl. der geg. Rohdichte $\rho_k = 400 \text{ kg/m}^3$
$$\frac{400-380}{430-380} = \frac{x}{0,40-0,37} \Rightarrow x = 0,012$$

$\Rightarrow R_d (\rho_k = 400 \text{ kg/m}^3) \approx 0,37+0,012 \approx 0,382 \text{ kN}$

Tabelle A.25, $k_{mod} = 0,9$ $\rho_k = 380 \text{ kg/m}^3 \Rightarrow R_d = 0,51 \text{ kN}$
 $\rho_k = 430 \text{ kg/m}^3 \Rightarrow R_d = 0,54 \text{ kN}$

Lineare Interpolation bezogen auf die Rohdichte $\rho_k = 400 \text{ kg/m}^3$

$\Rightarrow R_d (\rho_k = 400 \text{ kg/m}^3) \approx 0,522 \text{ kN}$

Interpolation bezüglich k_{mod}

Näherungsweise lineare Interpolation zwischen den bereits bzgl. der Rohdichte interpolierten Tabellenwerten der Tabellen A.24 und A.25

Aus der linearen Interpolation Tabelle A.24

$\Rightarrow k_{mod} = 0,6 \Rightarrow R_d = 0,382 \text{ kN}$

Aus der linearen Interpolation Tabelle A.25

$\Rightarrow k_{mod} = 0,9 \Rightarrow R_d = 0,522 \text{ kN}$

$$\frac{0,8-0,6}{0,9-0,6} = \frac{x}{0,522-0,382} \Rightarrow x = 0,093$$

$$\Rightarrow R_d (\rho_k = 400 \text{ kg/m}^3, k_{mod} = 0,8) \approx 0,382 + 0,093 \approx 0,475 \text{ kN}$$

Zum Vergleich: Wert der Berechnung mit Gleichungen der Tabelle 5.1: $\Rightarrow R_d = 0,479 \text{ kN}$

Der maßgebende Versagensmechanismus bei einschnittigen Verbindungen ist ab der Holzdicke $b_1 = 40 \text{ mm}$ fast in allen Fällen die Ausbildung zweier Fließgelenke im Verbindungsmittel entsprechend Gl. 5.13, in seltenen Fällen die Ausbildung eines Fließgelenkes entsprechend Gl. 5.11.

Nur bei sehr großen Nageldurchmessern und gleichzeitig verhältnismäßig dünnen Hölzern wird Gl. 5.8 maßgebend.

Um die anzugebende Zahlenmenge in den Tabellen zu reduzieren werden für die Holzdicke b_2 Bereiche angegeben. Es ist daher zu überprüfen, ob die Nagellänge nicht die Summe der Holzdicken $b_1 + b_2$ übersteigt, d.h. die Nägel überstehen. Die Bemessungswerte der Tragfähigkeit bleiben in diesen Fällen jedoch unverändert.

Für die Herstellung von Wand- und Deckenscheiben sind die Tragfähigkeiten der Nagelungen von Holzwerkstoffen auf Vollholz von besonderer Bedeutung. In den Tabellen A.28 bis A.31 werden daher für die bereits o.a. Anwendungsbereiche Bemessungswerte der Tragfähigkeit für Bau-Furniersperrholz entsprechend der Tabellen A.10 und A.11 angegeben. Die Dicke der Bau-Furniersperrholz-Platten wurde mit b_1 (16 mm und 25 mm), die Holzdicke mit b_2 ($\geq 60 \text{ mm}$) bezeichnet.

Für die Fälle $0,6 \leq k_{mod} \leq 0,9$ und $380 \text{ kg/m}^3 \leq \rho_{k,2} \leq 430 \text{ kg/m}^3$ dürfen die Werte näherungsweise linear interpoliert werden. Es darf gleichzeitig bezüglich der k_{mod} -Werte und der Rohdichte interpoliert werden.

Beispiel: Zugstab

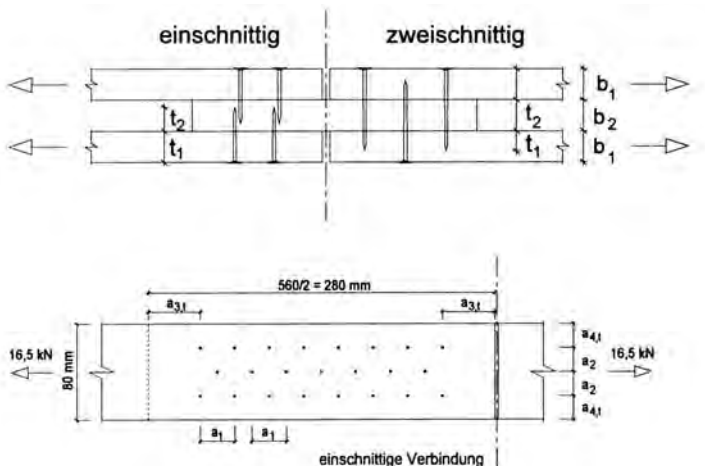


Bild 5.7 Beispiel Zugstab

Annahmen:

VH S10, $b/h = 40/80$ mm, $\rho_k = 350$ kg/m³

Nutzungsstufe 2: überdachtes Tragwerk,

Lasteinwirkungsdauer: ständig $\Rightarrow k_{mod} = 0,6$ (vgl. Tab. A.18)**Einschnittige Nagelverbindung**Festlegungen: $b_1 = 40$ mm, $b_2 = 40$ mmMindestholzdicke Mittenholz bei Nagelung ohne VorbohrenBedingung: $b_2 \geq l + 4d$ (vgl. Gl. 5.32)gewählt: Nä 3,1 x 70 $\Rightarrow l = 30$ mm; $4d = 12,4$ mm $l + 4d = 30 + 12,4 = 42,4$ mm $> b_2 = 40$ mm \Rightarrow Bedingung nicht eingehalten, Löcher müssten vorgebohrt werden!Neu gewählt: Nä 2,8 x 65 $\Rightarrow l = 25$ mm; $4d = 11,2$ mm $l + 4d = 25 + 11,2 = 36,2$ mm $< b_2 = 40$ mm \Rightarrow Nagelung ohne Vorbohren zulässigÜberprüfung der Mindestholzdicke

$$t = \max. \begin{cases} 7d & = 19,6 \text{ mm} \\ (13d - 30) \frac{\rho_k}{400} = (13 \cdot 2,8 - 30) \frac{380}{400} & = 6,1 \text{ mm} \end{cases}$$

vorh. $b = 40$ mm $> \min. t = 19,6$ mm (vgl. Gl. 5.31)Überprüfung der Mindesteinschlagtiefemin. $l = 8d = 22,4$ mm < 25 mm \Rightarrow zulässig (vgl. Tab. 5.6)Verbindungsmittelabstände (vgl. Tab. 5.7):

$\alpha = 0^\circ$	$a_1 = (5 + 5 \cdot \cos \alpha) d = 10d$	$= 28$ mm
$d < 5$ mm	$a_2 = 5d$	$= 14$ mm
	$a_{3,t} = (10 + 5 \cos \alpha) d = 15d$	$= 42$ mm
	$a_{4,t} = (5 + 5 \sin \alpha) d = 5d$	$= 14$ mm

Aufnehmbare Kraft in der Lasche bzw. je Querschnitt 40 x 80 $A_{Netto} = 40 \cdot 80 = 3200$ mm² = A_{Brutto} , wg.Nageldurchmesser $d = 2,8$ mm < 6 mmnicht vorgebohrt \Rightarrow keine Querschnittsschwächung zu berücksichtigen (vgl. Abschn. 2.5) $f_{t,0,k} = 14$ N/mm² (vgl. Tab. A6) $k_{mod} = 0,6$ (vgl. Tab. A18) $\gamma_M = 1,3$ (vgl. Tab. A17) $f_{t,0,d} = 0,6 \cdot 14 / 1,3 = 6,46$ N/mm²max. $F_{t,d} = 3200 \cdot 6,46 = 20677$ N > 16500 NBemessungswert der Lochleibungsfestigkeit

$$f_{h,1,k} = 0,082 \cdot \rho_k \cdot d^{0,3} \quad (\text{vgl. Tab. 5.8, Gl. 5.33})$$

$$= 0,082 \cdot 380 \cdot 2,8^{0,3}$$

$$= 22,88 \text{ N/mm}^2 = f_{h,2,k} \quad (\text{da identischer Werkstoff})$$

$$f_{h,1,d} = k_{mod,1} \cdot \frac{f_{h,1,k}}{\gamma_M} = 0,6 \cdot \frac{22,8}{1,3}$$

$$= 10,56 \text{ N/mm}^2 = f_{h,2,d} \quad (\text{vgl. Gl. 5.5})$$

$$\beta = \frac{f_{h,2,d}}{f_{h,1,d}} = 1,0 \quad (\text{vgl. Gl. 5.6})$$

Bemessungswert des Fließmoments des Verbindungsmittels

$$M_{y,k} = 180 \cdot d^{2,6} = 180 \cdot 2,8^{2,6} = 2617 \text{ Nmm} \quad (\text{vgl. Tab. 5.9, Gl. 5.36})$$

$$M_{y,d} = \frac{M_{y,k}}{\gamma_M} = \frac{2617}{1,1} = 2380 \text{ Nmm} \quad (\text{vgl. Gl. 5.7})$$

Berechnung der Nageltragfähigkeit

Es sind die Gleichungen der Tabelle 5.1 anzuwenden.

$$R_d = f_{h,1,d} t_1 d = 10,56 \cdot 40 \cdot 2,8 = 1183 \text{ N} \quad (\text{vgl. Gl. 5.8})$$

$$\text{Achtung: } t_2 = 65 - 40 = 25 \text{ mm} \quad (\text{vgl. Bild 5.6})$$

$$R_d = f_{h,1,d} t_2 d \beta = 10,56 \cdot 25 \cdot 2,8 \cdot 1,0 = 739 \text{ N} \quad (\text{vgl. Gl. 5.9})$$

$$R_d = \frac{f_{h,1,d} \cdot t_1 \cdot d}{1 + \beta} \left[\sqrt{\beta + 2 \cdot \beta^2 \cdot \left[1 + \frac{t_2}{t_1} + \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2 \right] + \beta^3 \cdot \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2} - \beta \cdot \left(1 + \frac{t_2}{t_1} \right) \right]$$

$$= \frac{10,56 \cdot 40 \cdot 2,8}{1 + 1,0} \left[\sqrt{1 + 2 \cdot \left[1 + \frac{25}{40} + \left(\frac{25}{40} \right)^2 \right] + 1 \cdot \left(\frac{25}{40} \right)^2} - 1 \cdot \left(1 + \frac{25}{40} \right) \right]$$

$$= 416 \text{ N} \quad (\text{vgl. Gl. 5.10})$$

$$R_d = 1,1 \cdot \frac{f_{h,1,d} \cdot t_1 \cdot d}{2 + \beta} \left[\sqrt{2 \cdot \beta \cdot (1 + \beta) + \frac{4 \cdot \beta \cdot (2 + \beta) \cdot M_{y,d}}{f_{h,1,d} \cdot d \cdot t_1^2}} - \beta \right]$$

$$= 1,1 \cdot \frac{10,56 \cdot 40 \cdot 2,8}{2 + 1,0} \left[\sqrt{2 \cdot 1,0 \cdot (1 + 1,0) + \frac{4 \cdot 1,0 \cdot (2 + 1,0) \cdot 2379}{10,56 \cdot 2,8 \cdot 40^2}} - 1,0 \right]$$

$$= 496 \text{ N} \quad (\text{vgl. Gl. 5.11})$$

$$R_d = 1,1 \cdot \frac{f_{h,1,d} \cdot t_2 \cdot d}{1 + 2 \cdot \beta} \left[\sqrt{2 \cdot \beta^2 \cdot (1 + \beta) + \frac{4 \cdot \beta \cdot (1 + 2\beta) \cdot M_{y,d}}{f_{h,1,d} \cdot d \cdot t_2^2}} - \beta \right]$$

$$= 1,1 \cdot \frac{10,56 \cdot 25 \cdot 2,8}{1 + 2 \cdot 1,0} \left[\sqrt{2 \cdot 1,0^2 \cdot (1 + 1,0) + \frac{4 \cdot 1,0 \cdot (1 + 2 \cdot 1,0) \cdot 2379}{10,56 \cdot 2,8 \cdot 25^2}} - 1,0 \right]$$

$$= 367 \text{ N} \quad (\text{vgl. Gl. 5.12})$$

$$R_d = 1,1 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \beta}{1 + \beta}} \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,d} \cdot f_{h,1,d} \cdot d}$$

$$= 1,1 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 1,0}{1 + 1,0}} \cdot \sqrt{2 \cdot 2379 \cdot 10,56 \cdot 2,8}$$

$$= 413 \text{ N} \quad (\text{vgl. Gl. 5.13})$$

Nachweis \Rightarrow maßgebend in diesem Fall: Gl. 5.12 $\Rightarrow \min. R_d = 367$ Nvorhanden je Hälfte: 23 Nägel $\cdot 2 = 46$ Nägel (gewählt)übertragbare Kraft: $46 \cdot 367$ N = 16836 N > 16500 N \Rightarrow Nachweis eingehaltenZum Vergleich: Bearbeitung mit Tabelle A.24Nä 2,8 x 65, $\rho_k = 350$ kg/m³, einschnittig, nicht vorgebohrt, $b_1 = 40$ mm, $b_2 = 40$ mm, $k_{mod} = 0,6$ \Rightarrow aus Tabelle A.24, Zeile für 2,8 x 65, Spalte 40/40 $\Rightarrow R_d = 0,37$ kN

zum Vergleich: Nä 2,8 x 65, alle Eingangsgrößen wie zuvor, jedoch vorgebohrt, Tabelle A.26

 $\Rightarrow R_d = 0,46$ kN

Zweischnittige Nagelverbindung

gew. Nä 4,2 x 110

Überprüfung der Mindestholzdicke

$$t = \max. \begin{cases} 7d & = 28,0 \text{ mm} \\ (13d - 30) \cdot \frac{\rho_k}{400} = (13 \cdot 4,2 - 30) \cdot \frac{380}{400} & = 23,4 \text{ mm} \end{cases}$$

vorh. $b = 40 \text{ mm} > \min. t = 28,0 \text{ mm}$ (vgl. Gl. 5.31)

Überprüfung der Mindesteinschlagtiefe

Nä 4,2 x 110; $b_1 = t_1 = 40$, $b_2 = t_2 = 40$,
erf. $l \geq 8d = 8 \cdot 4,2 = 33,6 \text{ mm}$
vorh. $l = 110 - 80 = 30 \text{ mm} < \text{erf. } l$, nicht zulässig
⇒ **neu gewählt Nä 4,2 x 120**
vorh. $l = 120 - 80 = 40 \text{ mm} > \text{erf. } l$, zulässig!

Mindest- und Ffandabstände:

$$\begin{aligned} a_{1,t} &= (5 + 5 \cdot |\cos \alpha|) \cdot d = 10d && = 42 \text{ mm} \\ a_{2,t} &= 5d = 21 \text{ mm, gewählt} && = 38 \text{ mm} \\ a_{3,t} &= (10 + 5 \cdot \cos \alpha) \cdot d = 15d && = 63 \text{ mm} \\ a_{4,t} &= (5 + 5 \sin \alpha) \cdot d && = 21 \text{ mm} \end{aligned}$$

⇒ zweireihige Anordnung

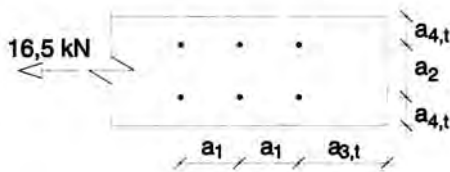


Bild 5.8 Nagelbild bei zweischnittiger Nagelung

Bemessungswert der Lochleibungsfestigkeit

$$\begin{aligned} f_{h,1,k} &= 0,082 \cdot \rho_k \cdot d^{0,3} && \text{(vgl. Tab. 5.8, Gl. 5.33)} \\ &= 0,082 \cdot 380 \cdot 4,2^{0,3} = 20,26 \text{ N/mm}^2 = f_{h,2,k} \\ f_{h,1,d} &= f_{h,2,d} = 0,6 \cdot \frac{20,26}{1,3} = 9,35 \text{ N/mm}^2 && \beta = 1,0 \end{aligned}$$

Bemessungswert des FlieBmoments des Verbindungsmittels

$$\begin{aligned} M_{y,k} &= 180 \cdot d^{2,6} = 180 \cdot 4,2^{2,6} = 7511 \text{ Nmm} && \text{(vgl. Gl. 5.37)} \\ M_{y,d} &= \frac{M_{y,k}}{\gamma_M} = \frac{7511}{1,1} = 6829 \text{ Nmm} && \text{(vgl. Gl. 5.7)} \end{aligned}$$

Bemessungswert der Nageltragfähigkeit

Es sind die Gleichungen der Tabelle 5.1 anzuwenden.

$$R_d = f_{h,1,d} \cdot t_1 \cdot d = 9,35 \cdot 40 \cdot 4,2 = 1571 \text{ N} \quad \text{(vgl. Gl. 5.14)}$$

$$R_d = 0,5 \cdot f_{h,1,d} \cdot t_2 \cdot d \cdot \beta = 0,5 \cdot 9,35 \cdot 40 \cdot 4,2 \cdot 1,0 = 785 \text{ N} \quad \text{(vgl. Gl. 5.15)}$$

$$\begin{aligned} R_d &= 1,1 \cdot \frac{f_{h,1,d} \cdot t_1 \cdot d}{2 + \beta} \cdot \left[\sqrt{2\beta \cdot (1 + \beta) + \frac{4\beta \cdot (2 + \beta) \cdot M_{y,d}}{f_{h,1,d} \cdot d \cdot t_1^2}} - \beta \right] \\ &= 1,1 \cdot \frac{9,35 \cdot 40 \cdot 4,2}{2 + 1,0} \cdot \left[\sqrt{2 \cdot 1,0 \cdot (1 + 1,0) + \frac{4 \cdot 1,0 \cdot (2 + 1,0) \cdot 6829}{9,35 \cdot 4,2 \cdot 40^2}} - 1,0 \right] \\ &= 750 \text{ N} && \text{(vgl. Gl. 5.16)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_d &= 1,1 \cdot \frac{2\beta}{1 + \beta} \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,d} \cdot f_{h,1,d} \cdot d} = 1,1 \cdot \frac{2 \cdot 1,0}{1 + 1,0} \cdot \sqrt{2 \cdot 6829 \cdot 9,35 \cdot 4,2} \\ &= 806 \text{ N} && \text{(vgl. Gl. 5.17)} \end{aligned}$$

Nachweis

⇒ maßgebend in diesem Fall: Gleichung 5.16

$$\Rightarrow \min. R_d = 750 \text{ N} = 0,75 \text{ kN je Scherfuge}$$

$$\frac{16,5}{0,75} = 22 \text{ Nägel} \Rightarrow \text{erf. } n = 2 \cdot 0,75 = 11 \text{ Nägel} \Rightarrow \text{gew. 12 Nägel}$$

Zum Vergleich: Bearbeitung mit Tabelle A.24

Nä 42 x 720, $\rho_k = 350 \text{ kg/m}^3$, zweischnittig, nicht vorgebohrt,
 $b_1 = 40 \text{ mm}$, $b_2 = 40 \text{ mm}$, $k_{mod} = 0,6$

⇒ aus Tabelle A 24, Zeile für 4,2 x 120, Spalte 40/40

$$\Rightarrow R_d = 0,75 \text{ kN}$$

zum Vergleich: Nä 42 x 120, alle Eingangsgrößen wie zuvor,
jedoch vorgebohrt, Tabelle A 26

$$\Rightarrow R_d = 0,98 \text{ kN}$$

Zweischnittige Nagelung, jedoch Mittellasche aus BFU, DIN 68705 Teil 5 (vgl. Tabelle A11)

angenommen: $b_2 = 41 \text{ mm}$, unverändert $b_1 = 40 \text{ mm}$

⇒ **neues $t_1 = 39 \text{ mm}$!** (vgl. Bild 5.6)

Mindest- und Randabstände

⇒ verkleinertes $a_{3,t}$ in der Mittellasche

$$\Rightarrow a_{3,t} = (3 + 4 \sin \alpha) \cdot d = 3d = 3 \cdot 4,2 = 12,6 \text{ mm}$$

Bemessungswerte der Lochleibungsfestigkeit

$$\begin{aligned} f_{h,1,d} &= 9,35 \text{ N/mm}^2 \\ f_{h,2,k} &= 0,11 \cdot \rho_k \cdot d^{0,3} = 0,11 \cdot 600 \cdot 4,2^{0,3} = 42,91 \text{ N/mm}^2 \\ f_{h,2,d} &= 0,6 \cdot \frac{42,91}{1,3} = 19,8 && \beta = \frac{f_{h,2,d}}{f_{h,1,d}} = \frac{19,8}{9,35} = 2,12 \end{aligned}$$

Bemessungswert der Nageltragfähigkeit

$$R_d = f_{h,1,d} \cdot t_1 \cdot d = 9,35 \cdot 39 \cdot 4,2 = 1532 \text{ N} \quad \text{(vgl. Gl. 5.14)}$$

$$\begin{aligned} R_d &= 0,5 \cdot f_{h,1,d} \cdot t_2 \cdot d \cdot \beta = 0,5 \cdot 9,35 \cdot 41 \cdot 4,2 \cdot 2,12 \\ &= 1707 \text{ N} && \text{(vgl. Gl. 5.15)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_d &= 1,1 \cdot \frac{f_{h,1,d} \cdot t_1 \cdot d}{2 + \beta} \cdot \left[\sqrt{2\beta \cdot (1 + \beta) + \frac{4\beta \cdot (2 + \beta) \cdot M_{y,d}}{f_{h,1,d} \cdot d \cdot t_1^2}} - \beta \right] \\ &= 1,1 \cdot \frac{9,35 \cdot 40 \cdot 4,2}{2 + 2,12} \cdot \left[\sqrt{2 \cdot 2,12 \cdot (1 + 2,12) + \frac{4 \cdot 2,12 \cdot (2 + 2,12) \cdot 6829}{9,35 \cdot 4,2 \cdot 40^2}} - 2,12 \right] \\ &= 841 \text{ N} && \text{(vgl. Gl. 5.16)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_d &= 1,1 \cdot \frac{2\beta}{1 + \beta} \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,d} \cdot f_{h,1,d} \cdot d} = 1,1 \cdot \frac{2 \cdot 2,12}{1 + 2,12} \cdot \sqrt{2 \cdot 6829 \cdot 9,35 \cdot 4,2} \\ &= 939 \text{ N} && \text{(vgl. Gl. 5.17)} \end{aligned}$$

Nachweis

⇒ maßgebend in diesem Fall: Gleichung 5.16

$$\text{erf. } n = \frac{16,5}{0,84} = 19,8 \approx 20 \text{ Nägel}$$

Verbindung mit außenliegendem Blech

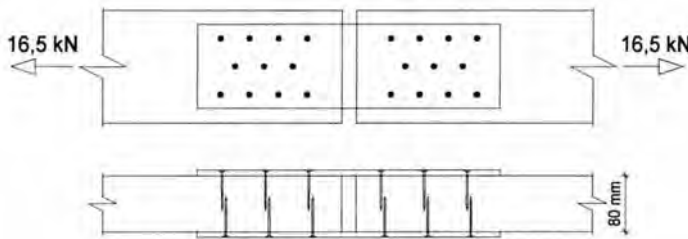


Bild 5.9 Zugstab: Verbindung mit außenliegendem Blech

gewählt: VH S 10, $\rho_k = 380 \text{ kg/m}^3$, Sondernägel 4,0 x 50, nicht vorgebohrt, $k_{mod} = 0,6$, Blechdicke $t = 3 \text{ mm}$

Überprüfung der Mindestholzdicke Mittelholz bei Nagelung ohne Vorbohren

$$b_2 \geq 4d + l = t_2 \geq 4 \cdot 4,0 + 47 = 63 \text{ mm} \quad (\text{vgl. Gl. 5.32})$$

vorh. $t_2 = 80 \text{ mm} > 63 \text{ mm}$

Überprüfung der Mindestholzdicke

$$t = \max. \begin{cases} 7d & = 28 \text{ mm} \\ (13d - 30) \cdot \frac{\rho_k}{400} = (13 \cdot 4,0 - 30) \cdot \frac{380}{400} & = 20,9 \text{ mm} \end{cases}$$

vorh. $d = 80 \text{ mm} > \min.t = 28 \text{ mm}$

Überprüfung der Mindesteinschlagtiefe

$$l \geq 6d \quad (\text{vgl. Tabelle 5.6})$$

$l \geq 24 \text{ mm}$; vorh. $l = t_1 = 50 - 3 = 47 \text{ mm} > 24 \text{ mm}$

Bemessungswert der Lochleibungsfestigkeit

$$f_{h,1,k} = 0,082 \cdot \rho_k \cdot d^{0,3} \quad (\text{vgl. Tab. 5.8, Gl. 5.32})$$

$$= 0,082 \cdot 380 \cdot 4,0^{0,3} = 20,56 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{h,1,d} = 0,6 \cdot \frac{20,56}{1,3} = 9,49 \text{ N/mm}^2$$

Bemessungswert des Fließmoments

$$M_{y,k} = 180 \cdot d^{2,6} = 180 \cdot 4,0^{2,6} = 6617 \text{ Nmm}$$

$$M_{y,d} = \frac{6617}{1,1} = 6015 \text{ Nmm}$$

Bemessungswert der Nageltragfähigkeit

Es sind die Gleichungen der Tabelle 5.3 anzuwenden.
Blechdicke $t = 3 \text{ mm} \Rightarrow 0,5d < t < d$
 \Rightarrow lineare Interpolation notwendig

$$R_d = (\sqrt{2} - 1) \cdot f_{h,1,d} \cdot t_1 \cdot d = (\sqrt{2} - 1) \cdot 9,49 \cdot 47 \cdot 4,0$$

$$= 739 \text{ N} \quad (\text{vgl. Gl.5.18})$$

$$R_d = 1,1 \cdot \sqrt{2M_{y,d} \cdot f_{h,1,d} \cdot d} = 1,1 \cdot \sqrt{2 \cdot 6015 \cdot 9,49 \cdot 4,0}$$

$$= 743 \text{ N} \quad (\text{vgl. Gl.5.19})$$

$$R_d = 1,1 \cdot f_{h,1,d} \cdot t_1 \cdot d \cdot \left[\sqrt{2 + \frac{4 \cdot M_{y,d}}{f_{h,1,d} \cdot d \cdot t_1^2}} - 1 \right]$$

$$= 1,1 \cdot 9,49 \cdot 47 \cdot 4,0 \cdot \left[\sqrt{2 + \frac{4 \cdot 6015}{9,49 \cdot 4,0 \cdot 47^2}} - 1 \right]$$

$$= 1005 \text{ N} \quad (\text{vgl. Gl.5.21})$$

$$R_d = 1,5 \cdot \sqrt{2M_{y,d} \cdot f_{h,1,d} \cdot d} = 1,5 \cdot \sqrt{2 \cdot 6015 \cdot 9,49 \cdot 4,0}$$

$$= 1014 \text{ N} \quad (\text{vgl. Gl.5.22})$$

Wegen $0,5d < 3 \text{ mm} < d$ ist zwischen den Werten R_d der Gleichungen 5.18 und 5.21 sowie 5.19 und 5.22 linear zu interpolieren, da diese Gleichungen jeweils ähnliche Versagensmechanismen beschreiben. Im vorliegenden Fall ist für $t = 3 \text{ mm}$ ($0,5d = 2 \text{ mm}$, $d = 4 \text{ mm}$) der Mittelwert zu berechnen. Gleichung 5.20 wird hier nicht berücksichtigt.

$$\Rightarrow R_d (t = 3 \text{ mm}) = \left\{ \begin{array}{l} \frac{(739 + 1005)}{2} = 872 \text{ N} \\ \frac{(743 + 1014)}{2} = 879 \text{ N} \end{array} \right.$$

$$\text{erf. } n = \frac{16500}{872} = 18,92 \Rightarrow \text{gew. je Seite 10 Nägel}$$

5.3.3 Beanspruchung des Nagels in Schaftrichtung (Herausziehen)

Bei Beanspruchung in Schaftrichtung dürfen glattschaftige Nägel bei ständigen oder langandauernden Lasteinwirkungen nicht verwendet werden. Die Formeln zur Berechnung des Bemessungswertes des Auszieh Widerstandes sind in Tabelle 5.10 angegeben. Der kleinste Wert der Gleichungen 5.38–5.40 ist maßgebend. Gl. 5.38 beschreibt den Versagensfall des Herausziehen des Nagels, die Gl. 5.39 und 5.40 den Versagensfall des Kopfdurchziehens. Für glattschaftige Nägel mit einem Kopfdurchmesser $\geq 1,8d$ darf Gleichung 5.39 unberücksichtigt bleiben. Die Mindesteinschlagtiefen sind in Tab. 5.6 angegeben. Nägel in Hirnholz dürfen nicht auf Herausziehen beansprucht werden.

Die Abstände von auf Herausziehen beanspruchter Nägel sollen den Abständen rechtwinklig zur Nagelachse belasteter Nägel nach Tab. 5.7 entsprechen.

Zusätzlich für die Beanspruchung in Schaftrichtung wird im EC5 ein Berechnungsverfahren für Schrägnagelungen angegeben. Bei Schrägnagelung sollte $a_{3,t} \geq 10 d$ sein, vgl. Bild 5.10.

Tabelle 5.10 Bemessungswert des Auszieh Widerstandes

Geltungsbereich	R_d in [N]
für alle Nägel	$f_{1,d} \cdot d \cdot l$ (5.38)
für glattschaftige Nägel	$f_{1,d} \cdot d \cdot h + f_{2,d} \cdot d^2$ (5.39)
für Rillen- und Schraubnägel	$f_{2,d} \cdot d^2$ (5.40)

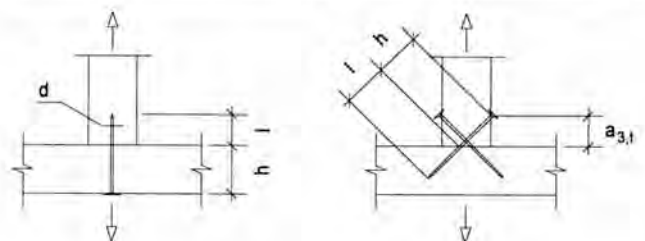


Bild 5.10 Auf Herausziehen beanspruchte Nägel

Bei der Berechnung der Bemessungswerte des Auszieh Widerstandes sollte für Rillen- und Schraubnägel nur der profilierte Schaftteil berücksichtigt werden.

Die charakteristischen Werte $f_{1,k}$ und $f_{2,k}$ der Parameter f_1 und f_2 hängen u. a. vom Nageltyp und der Rohdichte ab und sind in Tab. 5.11 zusammengefaßt.

Tabelle 5.11 Charakteristische Werte $f_{1,k}$ und $f_{2,k}$ in [N/mm²]

Nageltyp	$f_{1,k}$		$f_{2,k}$
glattschaftige Nägel	$(18 \cdot 10^{-6}) \rho_k^2$ (5.41)		$(300 \cdot 10^{-6}) \rho_k^2$ (5.45)
Sondernägel ²⁾	I ¹⁾	$(28 \cdot 10^{-6}) \rho_k^2$	$(600 \cdot 10^{-6}) \rho_k^2$ (5.46)
	II ¹⁾	$(40 \cdot 10^{-6}) \rho_k^2$	
	III ¹⁾	$(50 \cdot 10^{-6}) \rho_k^2$	
(NAD)			

I - III : Gleichungen (5.42 - 5.44), ρ_k in [kg/m³]
1) Tragfähigkeitsklasse nach DIN 1052 Teil 2, Abschn. 6.3.1
2) Sondernägel in vorgebohrten Löchern dürfen nicht in Rechnung gestellt werden!

Für Vollholz mit $u_m \approx 30\%$ beim Einbau, welches in eingebautem Zustand austrocknet, sind die Werte für $f_{1,k}$ und $f_{2,k}$ auf 2/3 zu mindern.

Die Bemessungswerte $f_{1,d}$ und $f_{2,d}$ werden berechnet mit:

$$f_{i,d} = \frac{k_{mod,i} \cdot f_{i,k}}{\gamma_M} \quad (i = 1 \text{ oder } 2) \quad (5.47)$$

Die Werte für k_{mod} sind in Tab. A.18, für γ_M in Tabelle A.17 angegeben. Werden verschiedene Werkstoffe verwendet, so sind die jeweils zugehörigen k_{mod} -Werte einzusetzen.

Beispiel: Nagelung Spanplatte $d = 16$ mm auf NH S10, $b = 80$ mm

*Mindestdicke der Spanplatte nach NAD: $b_{min} = 12$ mm
Sondernägel, 4,0 x 60, Tragfähigkeitsklasse III, $l = 44$ mm*

$$f_{1,k} = 50 \cdot 10^{-6} \cdot \rho_k^2 \quad (\text{vgl. Tab.5.11, Gl.5.44})$$

$$= 50 \cdot 10^{-6} \cdot 380^2 = 7,22 \text{ N/mm}^2$$

$f_{2,k}$ wird nicht maßgebend. Die Regelungen im EC5 gelten nicht für Holzwerkstoffe. Daher wurde im NAD eine Mindestdicke für Holzwerkstoffplatten festgelegt. Wird diese eingehalten ist der Nachweis des Kopfdurchziehens nicht erforderlich.

$$f_{1,d} = \frac{k_{mod,VH} \cdot f_{1,k}}{\gamma_{M,VH}} = \frac{0,6 \cdot 7,22}{1,3} = 3,33 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{vgl. Gl.5.47})$$

$$R_d = \min. \begin{cases} f_{1,d} \cdot d \cdot l = 3,33 \cdot 4,0 \cdot 44 = 586 \text{ N} & (\text{vgl. Gl. 5.37}) \\ \text{Gl. 5.38 nicht maßgebend, wg. } d_{Kopf} \geq 1,8 d \\ \text{Gl. 5.39 nicht anzuwenden, wg. } d_{FP} \geq 12 \text{ mm} \end{cases}$$

5.3.4 Kombinierte Beanspruchung auf Abscheren und Herausziehen

Folgende Bedingungen sollen eingehalten werden:

- für glattschaftige Nägel

$$\frac{F_{ax,d}}{R_{ax,d}} + \frac{F_{la,d}}{R_{la,d}} \leq 1 \quad (5.48)$$

- für Rillen- und Schraubnägel

$$\left(\frac{F_{ax,d}}{R_{ax,d}} \right)^2 + \left(\frac{F_{la,d}}{R_{la,d}} \right)^2 \leq 1 \quad (5.49)$$

mit F_{ax} Einwirkung in Schafrichtung
 F_{la} Einwirkung rechtwinklig zur Schafrichtung
 $R_{ax,d}$ Bemessungswert des Auszieh Widerstandes
 $R_{la,d}$ Bemessungswert der Tragfähigkeit rechtwinklig zur Nagelachse

Die jeweiligen Bemessungswerte sind wie bei einer alleinigen Beanspruchung je Kraftrichtung zu ermitteln.

5.4 Klammerverbindungen

Klammerverbindungen werden in diesem Heft nicht behandelt, vgl. EC 5, Abschn.6.4.

5.5 Bolzenverbindungen

5.5.1 Beanspruchung rechtwinklig zur Bolzenachse

Verbindungen mit rechtwinklig zu ihrer Achse beanspruchten Bolzen werden entsprechend den Gleichungen 5.8–5.17 bzw. 5.18–5.29 bemessen. Gegenüber Nagelverbindungen ist bei der Ermittlung der charakteristischen Werte der Lochleibungsfestigkeit zusätzlich der Winkel α zwischen Kraft- und Faserrichtung bei Verbindungen mit Vollholz zu berücksichtigen. Die Angaben des EC5 gelten für Bolzen bis zu einem Durchmesser von $d = 30$ mm. Sie müssen aus Stahl min. der Festigkeitsklasse 3.6 nach EN 20898 Teil 1 hergestellt sein. Bezüglich der Ausführung von Bolzenverbindungen wird in EC5: 7.4 zusätzlich geregelt:

- Der Durchmesser von Bolzenlöchern darf max. 1 mm größer sein als der Bolzendurchmesser
- Es sind beidseitig Unterlegscheiben mit voller Kontaktfläche und mit einem Außendurchmesser $\geq 3 d$ und einer Dicke $\geq 0,3 d$ ($d =$ Bolzendurchmesser) anzuordnen.
- Die Verschraubung soll so erfolgen, daß die verbundenen Holzteile eng aneinander liegen. Sie ist nach Erreichen der Ausgleichsfeuchte ggf. nachzuziehen.

Bei Bolzen ist die Tragfähigkeit abzumindern, wenn mehr als sechs Bolzen in Kraftrichtung hintereinander angeordnet werden.

Für eine Anzahl von $n > 6$ Bolzen beträgt damit die wirksame Anzahl n_{ef} :

$$n_{ef} = 6 + 2(n - 6)/3 \quad (5.50)$$

5.5.2 Holz-Holz- und Holzwerkstoff-Holz-Verbindungen mit Bolzen

Die **charakteristischen Werte** der Lochleibungsfestigkeit für **Vollholz und Brettschichtholz** werden nach den folgenden Gleichungen ermittelt:

- für eine Belastung parallel zur Faserrichtung

$$f_{h,0,k} = 0,082 (1 - 0,01 d) \rho_k \text{ [N/mm}^2] \quad (5.51)$$

- für eine Belastung unter einem Winkel α zur Faserrichtung

$$f_{h,\alpha,k} = f_{h,0,k} / (k_{90} \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha) \text{ [N/mm}^2] \quad (5.52)$$

mit

$$k_{90} = 1,35 + 0,015 d \text{ für Nadelhölzer} \quad (5.53)$$

$$k_{90} = 0,90 + 0,015 d \text{ für Laubhölzer} \quad (5.54)$$

Der **charakteristische Wert** der Lochleibungsfestigkeit für **Sperrholz** wird, unabhängig vom Winkel zwischen Kraft- und Faserrichtung ermittelt nach:

$$f_{h,0,k} = 0,11 (1 - 0,01 d) \rho_k \quad [\text{N/mm}^2] \quad (5.55)$$

Es sind ρ_k in $[\text{kg/m}^3]$ und d in $[\text{mm}]$ einzusetzen.

Der Faktor k_{90} beschreibt allgemein das Verhältnis der Festigkeit in Faserrichtung ($f_{h,0}$) zur Festigkeit rechtwinklig zur Faserrichtung ($f_{h,90}$). Die o.a. Gleichungen zur Bestimmung von k_{90} sind empirisch ermittelte, vereinfachte Beziehungen. Sie berücksichtigen die unterschiedliche Abhängigkeit der Festigkeiten $f_{h,0}$ und $f_{h,90}$ vom Bolzendurchmesser.

Die **Bemessungswerte der Lochleibungsfestigkeit** werden entsprechend Gleichung (5.5) ermittelt.

Der **charakteristische Wert des Fließmoments** $M_{y,k}$ für Bolzen wird ermittelt nach:

$$M_{y,k} = 0,8 f_{u,k} d^3 / 6 \quad [\text{Nmm}] \quad (5.56)$$

mit $f_{u,k}$ als der charakteristischen Zugfestigkeit des Stahls, die entsprechend NAD mit den Werten der Tab. 5.12 einzusetzen ist.

Tabelle 5.12 Charakteristische Werte der Zugfestigkeit $f_{u,k}$ für Bolzen verschiedener Festigkeitsklassen in $[\text{N/mm}^2]$

Festigkeitsklasse	Zugfestigkeit $[\text{N/mm}^2]$
3.6	300
4.6 und 4.8	400
5.6 und 5.8	500

Bei der Berechnung der charakteristischen Werte des Fließmoments wird die charakteristische Zugfestigkeit verwendet, da es sich um die näherungsweise Berechnung des plastischen Moments des Bolzens handelt, und so die Nachverfestigung des Stahls berücksichtigt wird.

Der **Bemessungswert des Fließmoments** wird entsprechend der Gleichung (5.7) ermittelt.

Die Mindestabstände für Bolzenverbindungen sind in Tab. 5.13 angegeben. Die Bezeichnungen entsprechen Bild 5.3.

Tabelle 5.13 Mindestabstände von Bolzen in $[\text{mm}]$

Bez.		
a_1	Parallel zur Faserrichtung	$(4+3 \cos\alpha)d^{1)}$
a_2	Rechtwinklig zur Faserrichtung	$4d$
$a_{3,t}$	$-90^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	$7d$ (jedoch min. 80 mm)
$a_{3,c}$	$150^\circ \leq \alpha \leq 210^\circ$ $90^\circ < \alpha < 150^\circ$ $210^\circ < \alpha < 270^\circ$	$4d$ $(1+6 \sin\alpha) d$ (jedoch mind. 4 d)
$a_{4,t}$	$0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$	$(2+2\sin\alpha) d$ (jedoch min. 3 d)
$a_{4,c}$	für alle anderen Werte von α	$3 d$

1) a_1 darf auf $(4 + |\cos \alpha|) d$ verringert werden, wenn $f_{h,0,k}$ mit $\sqrt{a_1 / (4 + 3|\cos \alpha|)} d$ abgemindert wird (NAD).

5.5.3 Stahlblech-Holz-Verbindungen mit Bolzen

Die Berechnung erfolgt entsprechend den Gleichungen (5.18–5.29) und den nach Abschn. 5.5.2 ermittelten Bemessungswerten der Lochleibungsfestigkeit und des Fließmoments.

5.5.4 Beanspruchung in Bolzenschaftrichtung

Der Bemessungswert der Zugfestigkeit des Bolzens ist zu überprüfen. Der Nachweis kann entsprechend ENV 1993-1-1 oder alternativ nach DIN 18800 Teil 1 erfolgen.

Die zu ermittelnde Zugfestigkeit des Bolzens darf nicht mit der Zugfestigkeit des Stahls entsprechend Tab. 5.12 verwechselt werden.

Die Dicke der Unterlegscheibe muß ausreichend sein (vgl. Abschn. 5.5.1).

Die Werte der Querdruckfestigkeit der Holzes- oder Holzwerkstoffs unter der Unterlegscheibe dürfen für alle Werkstoffe um 80% erhöht werden: der Bemessungswert der Druckspannung unter der Unterlegscheibe darf $1,8 f_{c,90,d}$ nicht überschreiten.

5.6 Stabdübelverbindungen

5.6.1 Beanspruchung rechtwinklig zur Stabdübelachse

Für Stabdübelverbindungen gelten sinngemäß die Regelungen für Bolzenverbindungen des Abschn. 5.5 mit Ausnahme der Regelungen für die Verbindungsmittelabstände.

Es ist also bei der Ermittlung der charakteristischen Werte der Lochleibungsfestigkeit für Vollholz und Brettschichtholz ebenfalls der Winkel zwischen Kraft- und Faserrichtung entsprechend der Gleichungen (5.50–5.53) zu berücksichtigen.

Entsprechend der Regelungen des NAD müssen Stabdübel aus Stahl S 235, S 275 oder S 355 nach EN 10 025 bestehen. Die charakteristischen Werte der Zugfestigkeit des Stahles der Stabdübel zur Ermittlung des Fließmomentes $M_{y,k}$ nach Gleichung (5.55) sind in Tab. 5.14 angegeben.

Bei mehr als sechs in Krafrichtung hintereinander angeordneten Stabdübeln ist die Tragfähigkeit entsprechend Gleichung 5.49 zu reduzieren.

Tabelle 5.14 Charakteristische Werte der Zugfestigkeit $f_{u,k}$ für Stabdübel verschiedener Nennstahlgüten in $[\text{N/mm}^2]$ (NAD)

Nennstahlgüte	$f_{u,k} \quad [\text{N/mm}^2]$
S 235	360
S 275	430
S 355	510

In EC 5, 7.4 wird zusätzlich geregelt:

- Der kleinste Stabdübeldurchmesser beträgt 6 mm
- Die Durchmesser tolerance des Stabdübel sollte $-0/+0,1$ mm betragen.
- Der Durchmesser der Bohrlöcher in den Holzteilen sollte nicht größer als der Durchmesser der Stabdübel sein.
- Bei Stahlblech-Holz-Verbindungen darf der Lochdurchmesser im Stahlteil 1 mm größer sein als der Stabdübeldurchmesser (NAD).

Die Mindestabstände für Stabdübel sind in Tabelle 5.15 angegeben.

Tabelle 5.15 Mindest- und Randabstände von Stabdübeln

Bez.		
a_1	Parallel zur Faserrichtung	$(3+4 \cos\alpha)d^{1)}$
a_2	Rechtwinklig zur Faserrichtung	$3d$
$a_{3,t}$	$-90^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	$7d$ (jedoch min. 80 mm)
$a_{3,c}$	$150^\circ \leq \alpha \leq 210^\circ$	$3d$
	$90^\circ < \alpha < 150^\circ$	$a_{3,t} \sin\alpha $
	$210^\circ < \alpha < 270^\circ$	(jedoch mind. $3d$)
$a_{4,t}$	$0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$	$(2+2\sin\alpha) d$ (jedoch min. $3d$)
$a_{4,c}$	für alle anderen Werte von α	$3d$

1) a_1 darf auf $(3 + 2 |\cos \alpha|) d$ verringert werden, wenn $f_{h,0,k}$ mit $\sqrt{a_1/(3 + 4 |\cos \alpha|) d}$ abgemindert wird (NAD).

5.6.2 Tabellen für die Bemessungswerte der Tragfähigkeit bei Beanspruchung rechtwinklig zur Stabdübelachse

Durch den zusätzlich zu berücksichtigenden Parameter „Winkel α zwischen Kraft- und Faserrichtung“ wird die Angabe von Tabellen mit Bemessungswerten der Tragfähigkeit erschwert, da die Zahl der möglichen Werte sprunghaft ansteigt. Um dennoch eine erste Orientierung zu ermöglichen, werden in den Tabellen A.32 bis A.35 Bemessungswerte der Tragfähigkeit für zweischnittige Holz-Holz-Stabdübelverbindungen und in den Tabellen A.36 bis A.39 für zweischnittige Stahlblech-Holz-Stabdübelverbindungen angegeben, jeweils für Stabdübel durchmesser mit $d_{St} \leq 24$ mm.

Die k_{mod} -Werte wurden mit $k_{mod} = 0,6$ und $k_{mod} = 0,9$ angenommen. Damit ist der Anwendungsbereich zwischen Lasten kurzer und ständiger Dauer bei Ausgleichsfeuchten $u_m \leq 20\%$ (alle Bauwerke, außer frei bewitterte Konstruktionen) abgedeckt.

Es werden die Bemessungswerte für $\rho_k = 380$ kg/m³ und $\rho_k = 430$ kg/m³ angegeben. Die Werte gelten damit für den Anwendungsbereich von Vollholz der Sortierklasse S 10 nach DIN 4074 bis zu Brettschichtholz der Sortierklasse BS 18 k (vgl. Tab. A.6 und A.7).

Voraussetzungen für die Verwendung der Tabellenwerte sind:

- Die Seitenholzdicke wird mit t_1 , die Mittelholzdicke mit t_2 bezeichnet.
- Die Tabellenwerte gelten ausschließlich für Stabdübel der Nennstahlgüte S 235 nach EN 10025. Dies entspricht Stabdübeln aus der Stahlgüte St 37. Stahlgüten mit besseren Werkstoffeigenschaften können verwendet werden. Sofern ihre erhöhten Tragfähigkeiten berücksichtigt werden sollen, sind sie neu zu berechnen.
- Es wird von bündig eingebauten Stabdübeln ausgegangen.
- Die Mindestdicke bei Stahlblech-Holz-Verbindungen des **innenliegenden Stahlblechs** beträgt 3 mm, da ab dieser Dicke die Mindestabstände ausschließlich von den Randabständen im Holzbauteil bestimmt werden.
- Die Tragfähigkeit der Stahlbauteile ist gesondert nachzuweisen (vgl. Abschn. 5.2.2).
- Die Rohdichte der zu verbindenden Hölzer ist gleich.
- Bei Holz-Holz- und Stahlblech-Holz-Verbindungen können Zwischenwerte für ρ_k bei gleichen k_{mod} -Werten näherungsweise linear interpoliert werden. Ebenso können bei gleichen Rohdichten die k_{mod} -Werte näherungsweise linear interpoliert werden. Es soll jedoch nicht gleichzeitig in Bezug auf die Rohdichte und k_{mod} interpoliert werden.
- Innerhalb der Tabellen können für den Zweck der Vorbemessung die Zwischenwerte für den Winkel α näherungsweise linear interpoliert werden. Da bei diesem Vorgehen Überschätzungen der Stabdübeltragfähigkeit bis zu 5% auftreten können, ist bei der Bemessung eine Berechnung entsprechend der Gleichungen in Abschn. 5.2 erforderlich.

Beispiel für Stabdübelverbindung

Zugstabanschluß

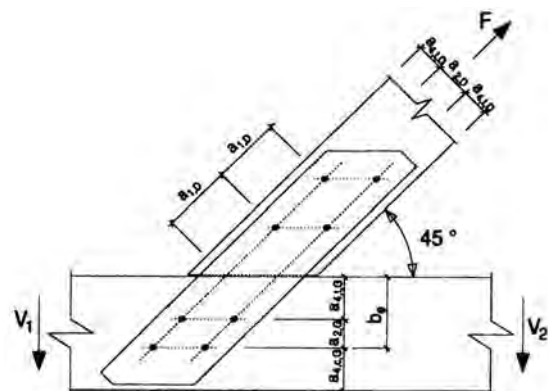


Bild 5.11 Vierschnittige Stabdübelverbindung mit zwei innenliegenden Blechen

Annahmen:

Stabdübel $\varnothing 16$ mm, Stahlgüte S235, $f_{u,k} = 360$ N/mm² (vgl. Tabelle 5.13), Stahlblech St 37

$k_{mod} = 0,6$, $\alpha = 45^\circ$

Brettschichtholz BS 14k $\Rightarrow f_{v,g,k} = 2,7$ N/mm², $\rho_k = 410$ kg/m³

$$f_{v,g,d} = 0,6 \cdot \frac{2,7}{1,3} = 1,25 \text{ N/mm}^2 \quad \gamma_M = 1,3$$

Mindest- und Randabstände
(Index G für Gurt, D für Diagonale)

$$\begin{aligned}
 a_{1,G} &= (3+4 \cdot \cos \alpha) \cdot d = (3+4 \cdot \cos 45^\circ) \cdot 16,0 = 93 \text{ mm} \\
 a_{2,G} &= 3d = 3 \cdot 16,0 = 48 \text{ mm} \\
 a_{3,G} &\Rightarrow \text{nicht vorhanden, da durchlaufender Gurtstab!} \\
 a_{4,c,G} &= 3d = 3 \cdot 16,0 = 48 \text{ mm} \\
 a_{4,t,G} &= (2+2 \sin \alpha) \cdot d \geq 3d = (2+2 \sin 45^\circ) \cdot 16,0 \leq 55 \text{ mm} \\
 a_{1,D} &= (3+4 \cdot \cos \alpha) \cdot d = (3+4 \cdot \cos 0^\circ) \cdot 16,0 = 112 \text{ mm} \\
 a_{2,D} &= 3d = 3 \cdot 16,0 = 48 \text{ mm} \\
 a_{3,t,D} &= 7d > 80 \text{ mm} = 7 \cdot 16,0 = 112 \text{ mm} \\
 a_{4,t,D} &= (2+2 \sin \alpha) \cdot d \geq 3d = (2+2 \sin 0^\circ) \cdot d < 3d \\
 &\Rightarrow a_{4,t,D} = 3d = 3 \cdot 16,0 = 48 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

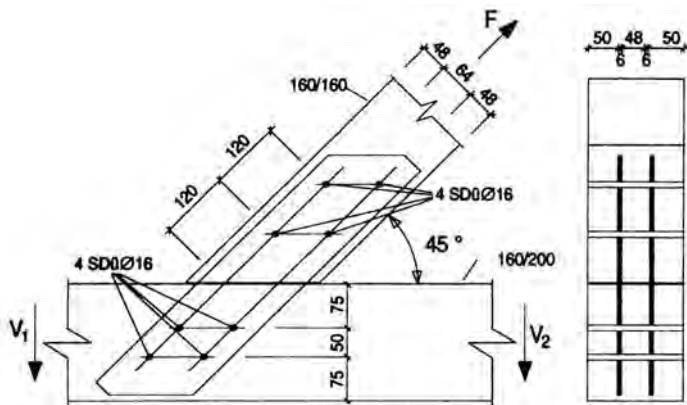


Bild 5.12 Gewählte Abmessungen, Beispiel Stabdübelverbindung

Bemessungswerte der Lochleibungsfestigkeit

⇒ für den Diagonalstab gilt $\alpha = 0$

$$\begin{aligned}
 f_{h,0,k} &= 0,082 (1 - 0,01d) \rho_k = 0,082 (1 - 0,01 \cdot 16,0) \cdot 410 \\
 &= 28,24 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{vgl. Gl.5.51}) \\
 f_{h,0,d} &= 0,6 \cdot \frac{28,24}{1,3} = 13,03 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{vgl. Gl.5.5})
 \end{aligned}$$

für den Untergurt gilt:

$$f_{h,\alpha,k} = \frac{f_{h,0,k}}{\left(k_{90} \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha \right)} \quad (\text{vgl. Gl. 5.52})$$

$$k_{90} = 1,35 + 0,015d = 1,35 + 0,015 \cdot 16,0 = 1,59 \quad (\text{vgl. Gl. 5.53})$$

$$f_{h,45,k} = \frac{28,24}{\left(1,59 \sin^2 45^\circ + \cos^2 45^\circ \right)}$$

$$f_{h,45,d} = 0,6 \cdot \frac{21,81}{1,3} = 10,07 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{vgl. Gl.5.5})$$

Bemessungswertes des Fließmomentes des Stabdübels

$$M_{y,k} = 0,8 \cdot f_k \cdot \frac{d^3}{6} = 0,8 \cdot 360 \cdot \frac{16^3}{6} = 196608 \text{ Nmm} \quad (\text{vgl. Gl.5.56})$$

$$M_{y,d} = \frac{196608}{1,1} = 178735 \text{ Nmm} \quad (\text{vgl. Gl.5.7})$$

Bemessungswert der Stabdübel-Tragfähigkeit

Die 4-schnittige Verbindung wird entsprechend **Abschn. 5.2.3** und **Bild 5.2** berechnet.

Bemessungswertes der Tragfähigkeit für die Scherfuge A

Es gelten die Gleichungen (5.23–5.25). Die Berechnung der Bemessungswerte für den Diagonalstab werden ausführlich dargestellt. Die Bemessungswerte für den Gurt werden wegen der veränderten Lochleibungsfestigkeit zusätzlich angegeben.

$$R_d = f_{h,0,d} \cdot t_1 \cdot d = 13,03 \cdot 50 \cdot 16,0 = 10424 \text{ N} \quad (\text{vgl. Gl. (5.23)})$$

Gurt mit $f_{h,45,d} = 10,07 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow R_d = 8056 \text{ N}$

$$R_d = 1,1 \cdot f_{h,1,d} \cdot t_1 \cdot d \cdot \left[\sqrt{2 + \frac{4M_{y,d}}{f_{h,1,d} \cdot d \cdot t_1^2}} - 1 \right] \quad (\text{vgl. Gl. (5.24)})$$

$$R_d = 1,1 \cdot 13,03 \cdot 50 \cdot 16,0 \cdot \left[\sqrt{2 + \frac{4 \cdot 178735}{13,03 \cdot 16,0 \cdot 50^2}} - 1 \right] = 9588 \text{ N}$$

Gurt mit $f_{h,45,d} = 10,07 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow R_d = 8356 \text{ N}$

$$R_d = 1,5 \cdot \sqrt{2M_{y,d} \cdot f_{h,1,d} \cdot d} \quad (\text{vgl. Gl. 5.25})$$

$$= 1,5 \cdot \sqrt{2 \cdot 178735 \cdot 13,03 \cdot 16,0} = 12949 \text{ N}$$

Gurt mit $f_{h,45,d} = 10,07 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow R_d = 11384 \text{ N}$

⇒ maßgebend Gl. 5.24 Diagonale: $R_d = 9588 \text{ N}$
 ⇒ maßgebend Gl. 5.23 Gurt: $R_d = 8056 \text{ N}$

Bemessungswerte der Tragfähigkeit für die Scherfuge B

Entsprechend der Erläuterungen im Abschnitt 5.2.3 werden zur Ermittlung der Tragfähigkeit die Gleichungen (5.28) und (5.29) verwendet, obwohl $t = 6 \text{ mm} < 0,5d = 8 \text{ mm}$ ist (innenliegendes Blech).

$$R_d = 0,5 \cdot f_{h,0,d} \cdot t_2 \cdot d \quad (\text{vgl. Gl. (5.28)})$$

$$= 0,5 \cdot 13,03 \cdot 48 \cdot 16,0 = 5004 \text{ N}$$

Gurt: $R_d = 3867 \text{ N}$

$$R_d = 1,5 \cdot \sqrt{2M_{y,d} \cdot f_{h,2,d} \cdot d} = 1,5 \cdot \sqrt{2 \cdot 178735 \cdot 13,03 \cdot 16}$$

$$= 12949 \text{ N} \quad (\text{vgl. Gl. (5.29)})$$

Gurt: $R_d = 11384 \text{ N}$

⇒ Bemessungswert der Gesamttragfähigkeit je Stabdübel

Diagonale:
 $R_{d,D} = 2 \cdot 9588 \text{ N} + 2 \cdot 5004 \text{ N} = 29184 \text{ N} \quad (\text{vgl. Gl.5.30})$

Gurt:
 $R_{d,G} = 2 \cdot 8056 \text{ N} + 2 \cdot 3867 \text{ N} = 23846 \text{ N} \quad (\text{vgl. Gl.5.30})$

Bemessungswert der Tragfähigkeit der Stabdübelverbindung

$$F_d = 4 \cdot \frac{23846 \text{ N}}{1000} = 95,4 \text{ kN}$$

Vereinfachter Quersugnachweis

Voraussetzung: $b^e = 125 \text{ mm} > 0,5h = 100 \text{ mm}$

$$V_d \leq 2 f_{v,d} b_e t / 3 \quad (\text{vgl. Gl.5.3})$$

$$V_d \leq 2 \cdot 1,25 \cdot 125 \cdot (160 - 12) / 3 / 1000 = 15,4 \text{ kN}$$

$$\text{vorh. } V_d = 0,5 F \sin \alpha = 0,5 \cdot 95,4 \cdot \sin 45^\circ = 33,8 \text{ kN} > 15,4 \text{ kN}$$

Bedingung **nicht** eingehalten

$$\Rightarrow F_d = 2V_d / \sin \alpha = 43,6 \text{ kN}$$

Im vorliegenden Fall ist der Quersugnachweis maßgebend.

5.7 Holzschraubenverbindungen

5.7.1 Beanspruchung rechtwinklig zur Schraubenachse

Schrauben mit einem Durchmesser **kleiner als 8 mm** werden bei Beanspruchung rechtwinklig zur Schraubenachse **wie Nägel** entsprechend Abschn. 5.3.2, Schrauben mit einem Durchmesser **größer oder gleich 8 mm** werden **wie Bolzen** entsprechend Abschn. 5.6.1 bemessen.

Bei den jeweiligen Gleichungen zur Ermittlung der Lochleibungsfestigkeit soll für den Durchmesser d der Durchmesser des glatten Schaftes eingesetzt werden.

Zur Berechnung von $M_{y,k}$ soll jedoch $d_{ef} = 0,9 d$ verwendet werden, wenn der Kerndurchmesser mind. $0,7 d$ beträgt und die Einschraubtiefe des glatten Schaftes weniger als $4d$ beträgt. Bei einer Einschraubtiefe des glatten Schaftes größer oder gleich $4d$, darf $d_{ef} = d$ angesetzt werden.

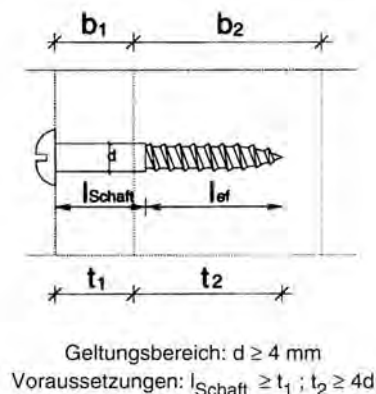


Bild 5.13 Bezeichnungen bei Schraubenverbindungen

Entsprechend NAD dürfen Holzschrauben nach DIN 96 und DIN 97 mit einem Nenndurchmesser $d_s \geq 4 \text{ mm}$ und Holzschrauben nach DIN 571 verwendet werden.

Der charakteristische Wert der Zugfestigkeit des Stahles zur Berechnung des charakteristischen Wertes des Fließmoments ist mit $f_{u,k} = 300 \text{ N/mm}^2$ anzunehmen.

Bei der Verwendung anderer Schraubentypen, wie z.B.: Kreuzschlitzschrauben mit durchgehendem Gewinde zur Ausbildung von Scheiben aus Holz und Holzwerkstoffen, ist bei der Verwendung experimentell ermittelter Werte für $M_{y,k}$ und $f_{h,k}$ eine bauaufsichtliche Zulassung (Zustimmung) erforderlich (vgl. Abschn. 5.1).

Bei mehreren in Krafrichtung hintereinander angeordneten Schrauben ist eine Abminderung für $d < 8 \text{ mm}$ nicht erforderlich. Für $d \geq 8 \text{ mm}$ ist eine Abminderung entsprechend der Regel für Bolzen und Stabdübelverbindungen vorzunehmen, vgl. Abschn. 5.5.1, Gl.5.50.

Holzschrauben mit $d > 5 \text{ mm}$ sollen in vorgebohrte Löcher eingedreht werden. Der Lochdurchmesser soll dabei bis zu einer Tiefe von l_{Schaft} dem Schaftdurchmesser d entsprechen, das Führungsloch des Gewindeteils soll mit $0,7 d$ vorgebohrt werden.

Die Einhaltung dieser Regel kann nur durch einen zweigeteilten Bearbeitungsvorgang (Vorbohren mit $0,7d$, Bohren mit d bis l_{Gnast}) oder durch die Verwendung spezieller Bohrer gewährleistet werden, die mit den Abmessungen der verwendeten Schraube korrespondieren. Es ist sicher anzustreben, daß diese etwas praxisferne Regelung durch weitere Untersuchungen oder allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen der Schraubenhersteller vereinfacht wird.

Die Einschraubtiefe der Schraubenspitze sollte mindestens $4d$ betragen.

Die Mindest- und Randabstände für Schrauben mit $d < 8 \text{ mm}$ sind entsprechend der Regelungen für Nägel nach Tabelle 5.7 zu bestimmen. Für Schrauben mit einem Durchmesser $d \geq 8 \text{ mm}$ gelten die Regelungen für Bolzen nach Tabelle 5.13.

5.7.2 Beanspruchung in Schraubenschaftrichtung

Die Tragfähigkeit wird ausgehend von dem charakteristischen Schraubenausziehparameter $f_{3,k}$ berechnet:

$$f_{3,k} = (1,5 + 0,6d) \cdot \sqrt{\rho_k} \quad [\text{N/mm}] \quad (5.57)$$

mit ρ_k in $[\text{kg/m}^3]$

Der Bemessungswert des Schraubenausziehparameters $f_{3,d}$ wird unter Berücksichtigung von k_{mod} nach Tabelle A.18 und $\gamma_M = 1,3$ entsprechend

$$f_{3,d} = f_{3,k} \cdot \frac{k_{\text{mod}}}{\gamma_M} \quad [\text{N/mm}] \quad (5.58)$$

berechnet.

Der Bemessungswert des Ausziehwiderstandes R_d ergibt sich damit zu:

$$R_d = f_{3,d} (l_{ef} - d) \quad [\text{N}] \quad (5.59)$$

Ergänzend ist die Tragfähigkeit der Schraube auf Zug nachzuweisen (NAD). Der Bemessungswert der Schraubentragfähigkeit R_d ist anzunehmen mit:

$$R_d = \frac{75 \cdot \pi \cdot (0,9d)^2}{\gamma_M} \quad (5.60)$$

mit $\gamma_M = 1,1$

Für die Bemessung ist der kleinere der Werte aus den Gl. 5.59 und 5.60 maßgebend.

Die Mindestabstände und Einschraubtiefen entsprechen den Regelungen für rechtwinklig zur Schraubenachse belastete Schrauben.

5.7.3 Kombinierte Beanspruchung

Es ist die Bedingung für Rillen- und Schraubnägel entsprechend Gl. 5.49 (vgl. Abschn. 5.3.4) einzuhalten.

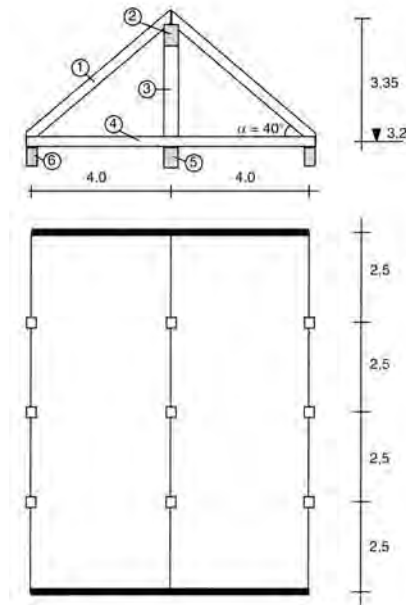
5.8 Nagelplatten

Für Nagelplatten gelten die Regelungen in EC5, Anhang D.

6 Beispiel

Einstieliges Pfettendach

- POS 1: Sparren, $e = 0,625\text{ m}$
- POS 2: Firstpfette
- POS 3: Firstpfosten
- POS 4: Deckenbalken, $e = 0,625\text{ m}$
- POS 5: Unterzug
- POS 6: Traufpfette



Charakteristische Werte der Einwirkungen

ständige Einwirkungen:

Dachaufbau:	g_k	$= 1,3\text{ kN/m}^2$	Dfl	<u>Lasteinwirkungs-</u> <u>dauer</u>	ständig
Deckenaufbau:	g_k	$= 1,5\text{ kN/m}^2$	Gfl	ständig	

veränderliche Einwirkungen:

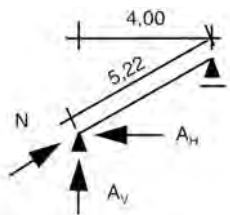
Schnee:	$s_k = k_s s_0$ $= 0,75 \cdot 1,25 = 0,94\text{ kN/m}^2$	Gfl	kurz
Wind	$w_k = 1,25 c_p q$ $= 1,25 \cdot 0,6 \cdot 0,5 = 0,38\text{ kN/m}^2$	Dfl	kurz
Verkehrslast	$p_k = 2,0\text{ kN/m}^2$	Gfl	mittel

Eigenlast der Bauteile in den Lastannahmen näherungsweise enthalten.

Klassen der Lasteinwirkungsdauer siehe Tabelle A.5

Schneelastzone III
Höhe < 500 m über NN
Lasteinzugsfläche des Sparrens $\leq 15\%$ der Dachfläche

POS 1 Sparren:



Belastungen:

$g_k = 1,3 \cdot 0,625 / \cos 40^\circ = 1,06\text{ kN/m}$	Gfl
$s_k = 0,94 \cdot 0,625 = 0,59\text{ kN/m}$	Gfl
$w_k = 0,38 \cdot 0,625 = 0,24\text{ kN/m}$	Dfl

Basis-Schnittgrößen (BSG)

$A_{Vg,k} = 1,06 \cdot 4,00/2 = 2,12\text{ kN} = B_{Vg,k}$	
$A_{Vs,k} = 0,59 \cdot 4,00/2 = 1,18\text{ kN} = B_{Vs,k}$	
$A_{Vw,k} = 0,23 \cdot 4,00/2 - 0,23 \cdot 3,35^2 / (2 \cdot 4,00) = 0,14\text{ kN}$	
$B_{Vw,k} = 0,23 \cdot 4,00 - 0,14 = 0,78\text{ kN}$	
$A_{Hw,k} = 0,23 \cdot 3,35 = 0,77\text{ kN}$	
$N_{g,k} = 2,12 \cdot \sin 40^\circ = 1,36\text{ kN (Druck)}$	
$N_{s,k} = 1,18 \cdot \sin 40^\circ = 0,76\text{ kN (Druck)}$	
$N_{w,k} = 0,14 \cdot \sin 40^\circ - 0,77 \cdot \cos 40^\circ = -0,50\text{ kN (Zug)}$	
$V_{g,k} = 2,12 \cdot \cos 40^\circ = 1,62\text{ kN}$	
$V_{s,k} = 1,18 \cdot \cos 40^\circ = 0,90\text{ kN}$	
$V_{w,k} = 0,14 \cdot \cos 40^\circ + 0,77 \cdot \sin 40^\circ = 0,60\text{ kN}$	
$M_{g,k} = 1,06 \cdot 4,00^2/8 = 2,12\text{ kNm}$	
$M_{s,k} = 0,59 \cdot 4,00^2/8 = 1,18\text{ kNm}$	
$M_{w,k} = 0,23 \cdot 5,21^2/8 = 0,78\text{ kNm}$	

gesamte horizontale Windlast der linken Dachfläche

Bemessungswerte der Schnittgrößen

a) Grenzzustand der Tragfähigkeit: **$1,35 \cdot g + 1,5 \cdot s + 1,5 \cdot 0,6 \cdot w$**

$$\begin{aligned} M_d &= 1,35 \cdot 2,12 + 1,5 \cdot 1,18 + 1,5 \cdot 0,6 \cdot 0,78 &= 5,33 \text{ kNm} \\ N_d &= 1,35 \cdot 1,36 + 1,5 \cdot 0,76 + 1,5 \cdot 0,6 \cdot (-0,50) &= 2,53 \text{ kN} \\ V_d &= 1,35 \cdot 1,62 + 1,5 \cdot 0,90 + 1,5 \cdot 0,6 \cdot 0,60 &= 4,08 \text{ kN} \end{aligned}$$

b) Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit: **$1,0 \cdot g + 1,0 \cdot s + 1,0 \cdot 0,5 \cdot w$**

Zusammenstellung der Ergebnisse

A, B, N, V in kN M in kNm	Basis - Schnittgrößen aus Lastfall			X_d $= 1,35 \cdot g + 1,5 \cdot s + 1,5 \cdot 0,6 \cdot w$
	g	s	w	
A_V	2,12	1,18	0,14	4,63
A_H	-	-	0,77	0,69
B_V	2,12	1,18	0,78	5,33
M	2,12	1,18	0,78	5,33
N	1,36	0,76	-0,50	2,53
V	1,62	0,90	0,60	4,08

Nachweise

Gewählt: S10 b/h = 80/200
Nutzungsklasse = 2, Lasteinwirkungsdauer: kurz
 $A = 16 \cdot 10^3 \text{ mm}^2$, $W = 533 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$, $I = 53,3 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$

$$\begin{aligned} f_{c,0,k} &= 21 \text{ N/mm}^2, f_{m,k} = 24 \text{ N/mm}^2, f_{v,k} = 2,5 \text{ N/mm}^2, E_{0,mean} = 11000 \text{ N/mm}^2 \\ \gamma_M &= 1,3, k_{mod} = 0,9 \\ f_{c,0,d} &= 0,9 \cdot 21 / 1,3 = 14,5 \text{ N/mm}^2, f_{m,d} = 16,6 \text{ N/mm}^2, f_{v,d} = 1,73 \text{ N/mm}^2 \\ k_{def,g} &= 0,8 \text{ (ständig)}, k_{def,s+w} = 0,0 \text{ (kurz)} \end{aligned}$$

Druck und Biegung

$$\lambda = \frac{5220}{0,289 \cdot 200} = 90 \Rightarrow 1/k_c = 2,68$$

$$\lambda_{rel,m} = 0,0642 \sqrt{\frac{5220 \cdot 200}{80^2}} = 0,82 \Rightarrow k_{crit} = 0,95$$

$$2,66 \frac{2,53 \cdot 10^3}{16 \cdot 10^3 \cdot 14,5} + \frac{5,33 \cdot 10^6}{0,95 \cdot 533 \cdot 10^3 \cdot 16,6} = 0,03 + 0,64 = 0,67 < 1$$

Schub

$$\tau_d = 1,5 \frac{4,08 \cdot 10^3}{16 \cdot 10^3} = 0,38 < f_{v,d} = 1,73 \text{ N/mm}^2$$

Durchbiegung

$$u_{g,inst} = \frac{5 \text{ MI}^2}{48 \text{ EI}} = \frac{5 \cdot 2,12 \cdot 10^6 \cdot 5220^2}{48 \cdot 11000 \cdot 53,3 \cdot 10^6} = 10,3 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} u_{s,inst} &= 10,3 \cdot 1,18 / 2,12 &= 5,7 \text{ mm} \\ u_{w,inst} &= 10,3 \cdot 0,39 / 2,12 &= 1,9 \text{ mm} \\ u_{s+w,inst} &= 5,7 + 0,5 \cdot 1,9 &= 6,7 \text{ mm} < l/300 = 17,4 \text{ mm} \\ u_{g,fin} &= 10,3 \cdot (1 + 0,8) &= 18,5 \text{ mm} \\ u_{s+w,fin} &= 5,7(1 + 0,0) + 0,5 \cdot 1,9(1 + 0,0) &= 6,7 \text{ mm} < l/200 = 26 \text{ mm} \\ u_{net,fin} &= u_{g,fin} + u_{s+w,fin} - u_0 &= 18,5 + 6,7 - 0 = 25,2 \text{ mm} < l/200 = 26 \text{ mm} \end{aligned}$$

Es treten nur kurzfristig wirkende veränderlichen Einwirkungen auf. k_{mod} ist somit konstant für alle veränderlichen Einwirkungen, sodaß nur die Lastfallkombination (LFK) zu betrachten ist, welche die größten Schnittgrößen ergibt
 γ -Werte vgl. Tabelle A.1
 Ψ -Werte vgl. Tabelle A.2

Tabelle A. 16:
im Bereich der Sparren stellt sich eine Holzfeuchte von $u > 12\%$ ein

Tabelle A.6
Tabelle A.17 und Tabelle A.18

Tabelle A.19

Abschn. 4.3.1–4.3.3

Tabelle 4.1 bzw. A.22

Gl (4.37) und Tabelle 4.2

Gl (4.39a)

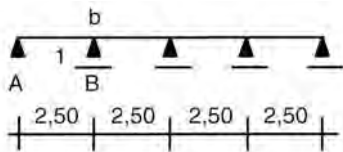
Abschnitt 4.1.7

Abschnitt 3.2

Tabelle A.21
Gl (3.1)
Gl (3.1) und Tabelle A.21

Gl(3.5) und Tabelle A.21

POS 2 Firstpfette



Belastungen:

$$g_k = 2 \cdot 2,12/0,625 = 6,78 \text{ kN/m}$$

$$s_k = 2 \cdot 1,18/0,625 = 3,78 \text{ kN/m}$$

$$w_{V,k} = 0 \text{ kN/m}$$

$$w_{H,k} = 0 \text{ kN/m}$$

Basis-Schnittgrößen (am Beispiel Eigenlast *g*):

$$B_k = 1,141 \cdot 6,78 \cdot 2,50 = 19,34 \text{ kN}$$

$$M_{bg,k} = 0,107 \cdot 6,78 \cdot 2,50^2 = 4,53 \text{ kNm}$$

$$V_{b,k} = 0,606 \cdot 6,78 \cdot 2,50 = 10,27 \text{ kN}$$

Bemessungswerte der Schnittgrößen

- a) Grenzzustand der Tragfähigkeit: **1,35 · g + 1,5 · s**
- b) Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit: **1,0 · g + 1,0 · s**

Zusammenstellung der Ergebnisse

B, V _b in kN M _b in kNm	Basis - Schnittgrößen aus Lastfall			X _d = 1,35·g+1,5·s
	g	s	w	
B	19,34	10,78	-	42,28
M _b	4,53	2,53	-	9,91
V _b	10,27	5,73	-	22,46

Nachweise

Gewählt: S10 b/h = 100/200
 Nutzungsklasse = 1, Lasteinwirkungsdauer: kurz
 A = 20 · 10³ mm², W = 667 · 10³ mm³, I = 66,7 · 10⁶ mm⁴
 k_{mod} = 0,9 ⇒ gleiche Baustoffkennwerte wie bei POS 1
 k_{def,g} = 0,6 (ständig), k_{def,s+w} = 0,0 (kurz)

Biegung am Auflager B

$$\lambda_{rel,m} \leq 0,75 \Rightarrow k_{crit} = 1,0$$

$$\frac{9,91 \cdot 10^6}{1,0 \cdot 667 \cdot 10^3} = 14,9 < f_{m,d} = 16,6 \text{ N/mm}^2$$

Schub

$$\tau_d = 1,5 \cdot \frac{22,46 \cdot 10^3}{20 \cdot 10^3} = 1,68 < f_{v,d} = 1,73 \text{ N/mm}^2$$

Durchbiegung im Endfeld

$$u = 0,0065 \frac{ql^4}{EI}$$

$$u_{g,inst} = 0,0065 \frac{6,78 \cdot 2500^4}{11000 \cdot 66,7 \cdot 10^6} = 2,3 \text{ mm}$$

$$u_{s,inst} = 2,3 \cdot 3,78/6,78 = 1,3 \text{ mm} < l/300 = 8,3 \text{ mm}$$

$$u_{g,fin} = 2,3 \cdot (1 + 0,6) = 3,7 \text{ mm}$$

$$u_{s,fin} = 1,3 \cdot (1 + 0,0) = 1,3 \text{ mm} < l/200 = 12,5 \text{ mm}$$

$$u_{net,fin} = u_{g,fin} + u_{s+w,fin} - u_0 = 3,7 + 1,3 - 0 = 5,0 \text{ mm} < l/200 = 12,5 \text{ mm}$$

Infolge B_v aus POS 1

Die Vertikalanteile von Winddruck links und Windsog rechts heben sich gegenseitig auf
 w_H wird von Traufpfette (POS 6) aufgenommen

Tabelle A.16:
beheizter Dachraum

Tabelle A.19
Gl (4.35) und Bild 4.21

Abschnitt 4.1.7

Tabelle A.21
Gl (3.1)
Gl (3.1) und Tabelle A.21
Gl (3.5) und Tabelle A.21

POS 3 Firstpfosten

Basis-Schnittgrößen

Normalkraft N_k identisch mit B_k aus POS 2

Bemessungswerte der Schnittgrößen

- a) Grenzzustand der Tragfähigkeit: **$1,35 \cdot g + 1,5 \cdot s$**
 b) Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit: **$1,0 \cdot g + 1,0 \cdot s$**

Zusammenstellung der Ergebnisse

N in kN	Basis-Schnittgrößen aus Lastfall		X_d $= 1,35 \cdot g + 1,5 \cdot s$
	g	s	
N	19,34	10,78	42,28

Nachweise

Gewählt: $810 \text{ b/h} = 100/140$, $A = 14 \cdot 10^3 \text{ mm}^2$
 Nutzungsklasse = 1, Lasteinwirkungsdauer: kurz

Knicknachweis

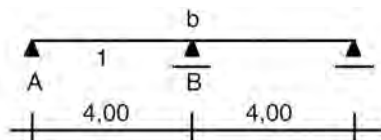
$$\lambda = \frac{3350}{0,289 \cdot 100} = 116 \Rightarrow 1/k_c = 4,26$$

$$4,26 \frac{42,28 \cdot 10^3}{14 \cdot 10^3} = 12,9 < f_{c,0,d} = 14,5 \text{ N/mm}^2$$

Querdrucknachweis

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{42,28 \cdot 10^3}{14 \cdot 10^3} = 3,0 \text{ N/mm}^2 < \frac{0,9 \cdot 5,0}{13} = 3,46 \text{ N/mm}^2$$

POS 4 Deckenbalken



Belastungen

$$g_k = 1,5 \cdot 0,625 = 0,94 \text{ kN/m}$$

$$p_k = 2,0 \cdot 0,625 = 1,25 \text{ kN/m}$$

Basis-Schnittgrößen (aus g):

$$A_{g,k} = 0,375 \cdot 0,94 \cdot 4,00 = 1,41 \text{ kN}$$

$$V_{bg,k} = 0,625 \cdot 0,94 \cdot 4,00 = 2,35 \text{ kN}$$

$$M_{bg,k} = 0,125 \cdot 0,94 \cdot 4,00^2 = 1,88 \text{ kNm}$$

Bemessungswerte der Schnittgrößen

- a) Grenzzustand der Tragfähigkeit: **$1,35 \cdot g + 1,5 \cdot p$**
 b) Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit: **$1,0 \cdot g + 1,0 \cdot p$**

Zusammenstellung der Ergebnisse

A, V_b in kN M_b in kNm	Basis-Schnittgrößen aus Lastfall		X_d $= 1,35 \cdot g + 1,5 \cdot p$
	g	p	
A	1,41	2,19	5,19
V_b	2,35	3,13	7,87
M_b	1,88	2,50	6,29

Gleiche Baustoffkennwerte wie bei POS 1

Tabelle 4.1 bzw. A.22

Gl (4.29)

Stützenlast von POS 3 wird von Unterzug (POS 5) bzw. von darunterstehendem Pfosten aufgenommen

p nur in Feld 1:
 $A_p = 0,438 \cdot 1,25 \cdot 4,00 = 2,19 \text{ kN}$

Nachweise

Gewählt: S 10 b/h = 80/200

Nutzungsklasse = 1, Lasteinwirkungsdauer: mittel

 $A = 16 \cdot 10^3 \text{ mm}^2$, $W = 533 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$, $I = 53,3 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$ $k_{\text{mod}} = 0,8 \Rightarrow f_{\text{m,d}} = 0,8 \cdot 24/1,3 = 14,8 \text{ N/mm}^2$, $f_{\text{v,d}} = 1,54 \text{ N/mm}^2$ $k_{\text{def,g}} = 0,6$ (ständig), $k_{\text{def,p}} = 0,25$ (mittel)Biegung über Auflager B

$$\frac{6,29 \cdot 10^6}{533 \cdot 10^3} = 11,8 < f_{\text{m,d}} = 14,8 \text{ N/mm}^2$$

Schub

$$\tau_{\text{d}} = 1,5 \frac{7,87 \cdot 10^3}{16 \cdot 10^3} = 0,74 < f_{\text{v,d}} = 1,54 \text{ N/mm}^2$$

Durchbiegung

$$u_{\text{g,inst}} = 0,0054 \frac{g l^4}{EI} = 0,0054 \frac{0,94 \cdot 4000^4}{11000 \cdot 53,3 \cdot 10^6} = 2,2 \text{ mm}$$

$$u_{\text{p,inst}} = 0,0092 \frac{p l^4}{EI} = 0,0092 \frac{1,25 \cdot 4000^4}{11000 \cdot 53,3 \cdot 10^6} = 5,0 \text{ mm} < l/300 = 13,3 \text{ mm}$$

$$u_{\text{g,fin}} = 2,2(1 + 0,6) = 3,5 \text{ mm}$$

$$u_{\text{p,fin}} = 5,0(1 + 0,25) = 6,3 \text{ mm} < l/200 = 20 \text{ mm}$$

$$u_{\text{net,fin}} = u_{\text{g,fin}} + u_{\text{p,fin}} \cdot u_0 = 3,5 + 6,3 \cdot 0 = 9,8 \text{ mm} < l/200 = 20 \text{ mm}$$

Schwingungsnachweis

$$g_k = 1,5 \text{ kN/m}^2 \Rightarrow m = 150 \text{ kg/m}^2$$

$$l_1 / l_2 = 1,0 \Rightarrow k_r = 2,0$$

$$(EI)_l = 11000 \cdot 10^6 \cdot (0,08 \cdot 0,2^3 / 12) / 0,625 = 0,94 \cdot 10^6 \text{ Nm}^2 / \text{m}$$

Dielenbelag in Querrichtung, $d = 32 \text{ mm}$

$$(EI)_b = 11000 \cdot 10^6 \cdot (0,032^3 / 12) = 0,030 \cdot 10^6 \text{ Nm}^2 / \text{m}$$

Frequenz

$$f_1 = 2,0^2 \frac{\pi}{2 \cdot 8,00^2} \sqrt{\frac{0,94 \cdot 10^6}{150}} = 7,8 > 6 \text{ Hz}$$

Durchbiegung (vereinfacht als Einfeldträger gerechnet)

$$u = \frac{1 \cdot 4,00^3 \cdot 10^6}{48 \cdot 0,94 \cdot 10^6} = 1,4 < 1,5 \text{ mm}$$

Geschwindigkeitsreaktion

$$(EI)_l / (EI)_b = 31 \Rightarrow n_{40}^0 \approx 5,5 \Rightarrow n_{40} \approx 2,0 \cdot 5,5 \cdot 10,00/8,00 = 13,75 \approx 14$$

$$\Rightarrow \text{vorh } G = 150 \cdot 10,00 \cdot 8,00 = 12000 \text{ kg} \gg \text{min } G \approx 2200 \text{ kg}$$

POS 5 Unterzug: wird hier nicht behandelt**POS 6** TraufpetteBelastungen:

$$g_k = 2,12/0,625 \text{ (POS 1)} + 1,41/0,625 \text{ (POS 4)} = 5,65 \text{ kN/m}$$

$$s_k = 1,18/0,625 \text{ (POS 1)} = 1,89 \text{ kN/m}$$

$$w_{\text{V,k}} = 0,77/0,625 \text{ (POS 1)} = 1,23 \text{ kN/m}$$

$$w_{\text{H,k}} = 1,25 \cdot 0,8 \cdot 0,5 \cdot 3,2/2 \text{ (Wand)} + 0,77/0,625 \text{ (Dach)} = 2,03 \text{ kN/m}$$

$$p_k = 2,19/0,625 \text{ (POS 4)} = 3,50 \text{ kN/m}$$

Tabelle A. 16: Decke zwischen zwei beheizten Räumen

Tabelle A.19

Abschnitt 4.1.7

Durchbiegung bei p nur in Feld 1
Tabelle A.21

Gl (3.1)

Gl (3.1) und Tabelle A.21

Gl (3.5) und Tabelle A.21

Abschnitt 3.3

Bild 3.2

Gl (3.6)

Gl(3.7)

Bild 3.3

Bild 3.4

Statisches System wie bei POS 2
(4-Feldträger)Horizontale Auflager an gleicher Stelle
wie vertikale AuflagerFür die Berechnung von $w_{\text{H,k}}$ wird die
halbe Wandfläche und die volle
Dachfläche in Ansatz gebracht

Bemessungswerte der Schnittgrößen

s und w wirken kurzfristig, p wirkt mittelfristig ⇒ wegen unterschiedlicher k_{mod} -Werte werden 2 Lastfallkombinationen betrachtet:

LFK '1' = 'Eigenlast + alle veränderlichen Einwirkungen'

LFK '2' = 'Eigenlast + mittelfristige veränderlichen Einwirkungen'

LFK'1a':

Grenzzustand der Tragfähigkeit: $1,35 \cdot g + 1,5 \cdot 0,7 \cdot s + 1,5 \cdot 0,6 \cdot w + 1,5 \cdot p$

Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit: $1,0 \cdot g + 1,0 \cdot 0,2 \cdot s + 1,0 \cdot 0,5 \cdot w + 1,0 \cdot p$

V _b in kN M _b in kNm		Basis-Schnittgrößen aus Lastfall				X _d
		g	s	w	p	
LFK '1a'	V _{b,V}	8,56	2,86	1,86	5,30	24,18
	V _{b,H}	-	-	3,08	-	2,77
	M _{bV}	3,78	1,26	0,82	2,34	10,67
	M _{bH}	-	-	1,36	-	1,22

LFK'1b':

Grenzzustand der Tragfähigkeit: $1,35 \cdot g + 1,5 \cdot 0,7 \cdot s + 1,5 \cdot w + 1,5 \cdot 0,7 \cdot p$

Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit: $1,0 \cdot g + 1,0 \cdot 0,2 \cdot s + 1,0 \cdot w + 1,0 \cdot 0,5 \cdot p$

V _b in kN M _b in kNm		Basis-Schnittgrößen aus Lastfall				X _d
		g	s	w	p	
LFK '1b'	V _{b,V}	8,56	2,86	1,86	5,30	22,91
	V _{b,H}	-	-	3,08	-	4,62
	M _{bV}	3,78	1,26	0,82	2,34	10,11
	M _{bH}	-	-	1,36	-	2,04

LFK '2'

Grenzzustand der Tragfähigkeit: $1,35 \cdot g + 1,5 \cdot p$

Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit: $1,0 \cdot g + 1,0 \cdot p$

V _b in kN M _b in kNm		Basis-Schnittgrößen aus Lastfall				X _d
		g	s	w	p	
LFK '2'	V _{b,V}	8,56	-	-	5,30	19,51
	V _{b,H}	-	-	-	-	-
	M _{bV}	3,78	-	-	2,34	8,61
	M _{bH}	-	-	-	-	-

Nachweise

Gewählt: BS 16k b/h = 110/200, A = 22 · 10³ mm²

W_y = 733 · 103 mm³, I_y = 73,3 · 10⁶ mm⁴, W_z = 403 · 10³ mm³, I_z = 22,18 · 10⁶ mm⁴

f_{m,g,k} = 32,0 N/mm², f_{v,g,k} = 2,7 N/mm², E_{0,g,mean} = 13 500 N/mm²

LFK'1':

k_{mod} = 0,9, γ_M = 1,3 ⇒ f_{m,d} = 0,9 · 32,0/1,3 = 22,2 N/mm², f_{v,d} = 1,87 N/mm²

LFK '2':

k_{mod} = 0,8, γ_M = 1,3 ⇒ f_{m,d} = 0,8 · 32,0/1,3 = 19,7 N/mm², f_{v,d} = 1,66 N/mm²

k_{def,g} = 0,8 (ständig), k_{def,s+w} = 0,0 (kurz), k_{def,p} = 0,25 (mittel)

vgl. Tabelle A.5

SG aus p größer als SG aus s
⇒ SG aus p voll angesetzt

Wegen größerem Anteil an Doppelbiegung wird w voll angesetzt

Diese LFK führt zu geringeren k_{mod}-Werten

Tabelle A.16:
Annahme: Traufpfette im Freien, überdacht ⇒ Nutzungsklasse = 2

Tabelle A.7

Lasteinwirkungsdauer = kurz

Lasteinwirkungsdauer = mittel

Tabelle A.19

Doppelbiegung über Auflager B in LFK 1

$$\text{LFK '1a': } \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} = \frac{10,67 \cdot 10^6}{733 \cdot 10^3 \cdot 22,2} = 0,66$$

$$\frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}} = \frac{1,22 \cdot 10^6}{403 \cdot 10^3 \cdot 22,2} = 0,14$$

$$0,66 + 0,7 \cdot 0,14 = 0,76 < 1$$

Gl (4.8), s.a. Bild 4.4

$$\text{LFK '1b': } \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} = \frac{10,11 \cdot 10^6}{733 \cdot 10^3 \cdot 22,2} = 0,62$$

$$\frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}} = \frac{2,04 \cdot 10^6}{403 \cdot 10^3 \cdot 22,2} = 0,23$$

$$0,62 + 0,7 \cdot 0,23 = 0,78 < 1$$

Gl (4.8), s.a. Bild 4.4

$$\text{LFK '2': } \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} = \frac{8,61 \cdot 10^6}{733 \cdot 10^3 \cdot 19,7} = 0,59 < 1$$

Schub (für LFK '1b')

$$\tau_{V,d} = 1,5 \frac{22,91 \cdot 10^3}{22 \cdot 10^3} = 1,56 \text{ N/mm}^2$$

Abschnitt 4.1.7

$$\tau_{H,d} = 1,5 \frac{4,62 \cdot 10^3}{22 \cdot 10^3} = 0,32 \text{ N/mm}^2$$

$$\Rightarrow \tau_d = \sqrt{1,56^2 + 0,32^2} = 1,59 < 1,87 \text{ N/mm}^2$$

Durchbiegung im Endfeld (nur für LFK '1b')

$$u = 0,0065 \frac{ql^4}{EI}$$

$$u_{g,V,inst} = 0,0065 \frac{5,65 \cdot 2500^4}{13500 \cdot 73,3 \cdot 10^6} = 1,45 \text{ mm}$$

$$u_{s,V,inst} = 1,45 \cdot 1,89/5,65 = 0,49 \text{ mm}$$

$$u_{w,V,inst} = 1,45 \cdot 1,23/5,65 = 0,32 \text{ mm}$$

$$u_{p,V,inst} = 1,45 \cdot 3,50/5,65 = 0,90 \text{ mm}$$

$$u_{s+w+p,V,inst} = 0,2 \cdot 0,49 + 0,32 + 0,5 \cdot 0,90 = 0,87 \text{ mm} < l/300 = 8,3 \text{ mm}$$

Tabelle A.21

$$u_{g,V,fin} = 1,45 \cdot (1 + 0,8) = 2,61 \text{ mm}$$

Gl (3.1)

$$u_{s,V,fin} = 0,49 \cdot (1 + 0,0) = 0,49 \text{ mm}$$

$$u_{w,V,fin} = 0,32 \cdot (1 + 0,0) = 0,32 \text{ mm}$$

$$u_{p,V,fin} = 0,90 \cdot (1 + 0,25) = 1,13 \text{ mm}$$

$$u_{s+w+p,V,fin} = 0,2 \cdot 0,49 + 0,32 + 0,5 \cdot 1,13 = 0,98 \text{ mm} < l/200 = 12,5 \text{ mm}$$

Tabelle A.21

$$u_{net,V,fin} = u_{g,V,fin} + u_{s+w+p,V,fin} = 2,61 + 0,98 = 3,59 \text{ mm} < l/200 = 12,5 \text{ mm}$$

Tabelle A.21

$$u_{w,H,inst} = 0,0065 \frac{2,03 \cdot 2500^4}{13500 \cdot 22,18 \cdot 10^6} = 1,72 \text{ mm}$$

$$u_{w,H,fin} = 1,72 \cdot (1 + 0,0) = 1,72 \text{ mm}$$

Gl (3.1)

$$u_{net,H,fin} = u_{w,H,fin} = 1,72 \text{ mm} < l/200 = 12,5 \text{ mm}$$

Tabelle A.21

$$u_{net,fin} = \sqrt{u_{net,V,fin}^2 + u_{net,H,fin}^2}$$

$$= \sqrt{3,59^2 + 1,72^2} = 4,0 \text{ mm} < l/200 = 12,5 \text{ mm}$$

Tabelle A.21

7 Literaturverzeichnis

Zitierte Literatur

- [1] Kreuzinger, H.; Mohr, B.: 1994 Schwingungsprobleme nach Eurocode 5 bei Wohnungsdecken. Forschungsbericht der Deutschen Gesellschaft für Holzforschung e.V., München
- [2] Holzbauwerke STEP1 - Bemessung und Baustoffe. Reihe Informationsdienst Holz, Fachverlag Holz, Düsseldorf
- [3] Johansen, K. W.: Theory of Timber Connections. IABSE, Publ. Nr. 9, 1949
- [4] Ehlbeck, J., Larsen, H. J.: Grundlagen der Bemessung von Verbindungen im Holzbau nach dem Eurocode 5 (ENV 1995-1-1, Nov. 1992). bauen mit Holz 10/93, S. 821 ff. Bruderverlag, Karlsruhe
- [5] Schneider, K.-J. (Hrsg.): Bautabellen, 11. Auflage, S. 9-83 ff., 1994, Werner-Verlag, Düsseldorf

Zitierte Normen und Vorschriften

- DIN EN 1995 Teil 1-1 (Eurocode 5): Entwurf, Berechnung und Bemessung von Holztragwerken, Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln, Bemessungsregeln für den Hochbau (6.94), Beuth Verlag
- Nationales Anwendungsdokument (NAD), Richtlinie zur Anwendung von DIN EN 1995 Teil 1-1 (10.94). Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin und Deutsche Gesellschaft für Holzforschung e.V., München
- DIN 1052 Teil 1-3: Holzbauwerke, Berechnung und Ausführung (04.88)
- DIN 1052 Teil 1 A1: Holzbauwerke; Berechnung und Ausführung, Änderung 1
- DIN 1055 Teil 1 bis Teil 5: Lastannahmen für Bauten (versch.)
- DIN 1074: Holzbrücken; Berechnung und Ausführung (05.91)
- DIN 4074 Teil 1: Sortierung von Nadelholz nach der Tragfähigkeit; Nadelschnittholz (09.89)
- DIN 4102 Teil 4: Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen, Zusammenstellung und Anwendung klassifizierter Baustoffe, Bauteile und Sonderbauteile (03.94)
- DIN 4149 Teil 1 und Teil 1 A1: Bauten in deutschen Erdbebengebieten; Lastannahmen; Bemessung und Ausführung üblicher Hochbauten (04.81 und 12.92)
- DIN 68140: Keilzinkenverbindung von Holz (10.71)
- DIN 68705 Teil 3: Sperrholz; Bau-Furniersperrholz (12.81)
- DIN 68705 Teil 5 und Beiblatt: Sperrholz; Bau-Furniersperrholz aus Buche (10.80)
- DIN 68754 Teil 1: Harte und mittelharte Holzfaserverplatten für das Bauwesen; Holzwerkstoffklasse 20 (02.76)
- DIN 68763: Spanplatten; Flachpreßplatten für das Bauwesen; Begriffe, Anforderungen, Prüfung, Überwachung (09.90)

Empfohlene Literatur

- Stand der Europäischen Normung im Holzbau: Deutscher Holzbautag, Tagungsband zum Ingenieurtag. Nürnberg 30.04.1994. Bund Deutscher Zimmermeister, Bonn
- Bemessung von Holzbauwerken nach Eurocode 5: Unterlagen zum Lehrgang Nr. 18192/89.214 der Technischen Akademie Esslingen, 1994
- Brüninghoff, H. und andere 1994: Vergleichsrechnungen Eurocode 5 – DIN 1052, Parameteruntersuchungen zum Vergleich der Sicherheit und Wirtschaftlichkeit von Holzbauteilen. Forschungsbericht der Deutschen Gesellschaft für Holzforschung e.V., München
- Informationsdienst Holz, holzbau handbuch: Eurocode 5 - Bemessungsbeispiele (hh R2 T01 F02)

Inhaltsverzeichnis Folge 2

Bemessungsbeispiele:

1	Hallentragwerk	49
1.1	Koppelpfetten (mit einschnittiger Holz-Holz-Nagelverbindung)	49
1.2	Dachbinder	52
1.2.1	Satteldachbinder mit geradem Untergurt	52
1.2.2	Satteldachbinder mit lose aufgesatteltem Firstkeil	55
1.2.3	Satteldachbinder mit fest verleimtem Firstkeil	59
1.2.4	Dreigelenkstabzug (mit zweischnittiger Stahl-Holz-Stabdübelverbindung)	59
1.3	Stützen	65
1.4	Seitenlasten	70
2	Fachwerkbinder	71
2.1	Bemessungsregeln	71
2.2	Dachverband (mit einschnittiger Stahl-Holz- Nagelverbindung)	73
3	Ermittlung der Bemessungswerte der Tragfähigkeit	77
4	Literatur- und Normenverzeichnis	78

1 Hallentragwerk

1.1 Koppelpfetten

Bauteilbeschreibung

Es wird ein Koppelpfettenstrang über 6 Felder von je 6 m Länge in Vollholz S10/MS10 ausgeführt. Die Koppelung erfolgt mit Sondernägeln der Tragfähigkeitsklasse III. Die Dachneigung beträgt 10°, der Pfettenabstand $e = 1,15$ m.

Statisches System

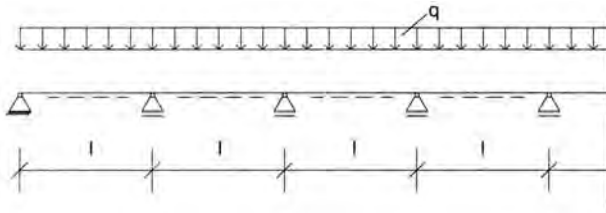


Bild 1.1 Koppelpfetten

Einwirkungen

charakteristische Werte der Einwirkungen

ständige Einwirkungen: (Eigengewicht)

Faserzement-Wellplatten	0,20 kN/m ² Dfl.
Dämmung	0,06 kN/m ² Dfl.
Schalung	0,10 kN/m ² Dfl.
Pfetten und Verbände	0,10 kN/m ² Dfl.
	0,46 kN/m ² Dfl.
$G_k =$	0,47 kN/m ² Gfl.

veränderliche Einwirkungen: (Schnee und Wind)

$$Q_k = 0,75 \text{ kN/m}^2 \text{ Gfl.}$$

Der Windsog wirkt entlastend \Rightarrow nicht maßgebend

Bemessungswert der Einwirkungen

$$S_d = \sum \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum \gamma_{Q,i} \Psi_{0,i} Q_{k,i}$$

Teilsicherheitsbeiwerte

- $\gamma_G = 1,35$ für ständige Einwirkungen
- $\gamma_G = 1,5$ für veränderliche Einwirkungen

$$Q_{z,d} = e \cos^2 10^\circ (\gamma_G G_k + \gamma_Q Q_k) = 1,15 \cos^2 10^\circ (1,35 \cdot 0,47 + 1,5 \cdot 0,75) = 1,96 \text{ kN / m}$$

$$Q_{y,d} = e \sin 10^\circ \cos 10^\circ (\gamma_G G_k + \gamma_Q Q_k) = 1,15 \sin 10^\circ \cos 10^\circ (1,35 \cdot 0,47 + 1,5 \cdot 0,75) = 0,35 \text{ kN/m}$$

Bemessungswert der Beanspruchungen

$$M_{y,z,d} = \eta Q_{z,y,d} |^2$$

	η	$M_{y,d}$	$M_{z,d}$
	[1]	[kNm]	[kNm]
Endfeld	0,078	5,50	0,98
1. Innenfeld	0,034	2,40	0,43
übrige Innenfelder	0,043	3,03	0,54

Als charakteristische Werte der Einwirkungen gelten grundsätzlich die Werte der DIN-Normen, insbesondere die Werte der Normenreihe DIN 1055, und gegebenenfalls der bauaufsichtlichen Ergänzungen und Richtlinien (NAD: 2.2.2.2 (1)).

Schneelastzone III, Höhe über NN ≤ 300 m.

EC 5: Gl. (2.3.2.2 a)

EC 5: Tab. 2.3.3.1

Allg. Bemessungsformel für Durchlaufträger, η -Werte können Tabellenwerken entnommen werden.

Berechnung der Kopplungskräfte

$K_{z,y} = 0,43 q_{z,y} l$	K_z	K_y
Innenfelder	5,06 kN	0,90 kN

Baustoffeigenschaften

Für die nachfolgende Bemessung wird die Festigkeitsklasse S10/MS10 gewählt. Bemessungswerte der Tragfähigkeit s. S. 77.

Modifikationsfaktor

Es wird die Nutzungsklasse 1 angenommen.

Lasteinwirkungsdauer: k_{mod} :
ständig: 0,60 (Eigengewicht)
kurz: 0,90 (Schnee) \Rightarrow maßgebend

Grenzzustände der Tragfähigkeit

$$k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}} \leq 1,00 \qquad \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}} \leq 1,00$$

mit $k_m = 0,7$ für Rechteckquerschnitte
 $f_{m,d} = 16,6 \text{ N/mm}^2$

Endfeld

gew.: S10/MS10 b/h= 120/160

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} = \frac{5,50 \cdot 10^6 \cdot 6}{120 \cdot 160^2} = 10,7 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{z,d}}{W_z} = \frac{0,98 \cdot 10^6 \cdot 6}{160 \cdot 120^2} = 2,55 \text{ N/mm}^2$$

$$\Rightarrow \frac{10,7}{16,6} + 0,7 \frac{2,55}{16,6} = 0,75 < 1,00$$

1. Innenfeld

gew.: S10/MS10 b/h= 60/160

Berechnung erfolgt analog zum Endfeld.

Übrige Innenfelder

gew.: S10/MS10 b/h= 70/160

Berechnung erfolgt analog zum Endfeld.

Berechnung der Verbindungen im ersten Innenfeld

gew.: 6 Sondernägeln RNA 4 x 125-III

Abscheren:

$$\beta = f_{h,2,d} / f_{h,1,d} = 1,00 \quad t_1 = 60 \text{ mm} \quad t_2 = 65 \text{ mm} \quad d = 4 \text{ mm} \quad \rho_k = 380 \text{ kg}$$

$$f_{h,1,k} = 0,082 \rho_k d^{-0,3} = 0,082 \cdot 380 \cdot 4^{-0,3} = 20,6 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{h,1,d} = \frac{k_{mod,1} f_{h,1,k}}{\gamma_M} = \frac{0,90 \cdot 20,6}{1,3} = 14,2 \text{ N/mm}^2$$

Angabe der bemessungsmaßgebenden Kräfte. Die Kopplungskräfte werden für 6 Felder ermittelt. Überkopplungslängen:

Endfeld: $\ddot{u} = 0,17 l$
Innenfelder: $\ddot{u} = 0,10 l$

EC 5: 3.1.5

EC 5: Tab. 3.1.7

Maßgebend ist der k_{mod} -Wert der Einwirkung mit der kürzesten Lasteinwirkungsdauer (EC 5: 3.1.7 (2)). Vorberechnungen haben ergeben, daß der Lastfall Eigengewicht, mit $k_{mod} = 0,6$, für die Bemessung nicht maßgebend ist.

EC 5: 5.1.6(2)

Der Wert β gibt das Verhältnis der Lochleibungsfestigkeiten der verwendeten Hölzer an (EC 5: 6.2.1 (1)). ρ_k aus NAD: Tab. 3.3-1
EC 5: Gl. (6.3.1.2 a)
EC 5: Gl. (6.2.1 l), γ_M für Holz

$$M_{y,k} = 180 d^{2,6} = 180 \cdot 4^{2,6} = 6617 \text{ Nmm}$$

$$M_{y,d} = \frac{M_{y,k}}{\gamma_M} = \frac{6617}{1,1} = 6015 \text{ Nmm}$$

$$\Rightarrow R_{1a,d} = \min. \begin{cases} f_{h,1,d} t_1 d = 3408 \text{ N} \\ f_{h,1,d} t_2 d \beta = 3692 \text{ N} \\ \frac{f_{h,1,d} t_1 d}{1+\beta} \left[\sqrt{\beta + 2\beta^2 \left[1 + \frac{t_2}{t_1} + \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2 \right] + \beta^3 \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2} - \beta \left(1 + \frac{t_2}{t_1} \right) \right] = 1472 \text{ N} \\ 1,1 \frac{f_{h,1,d} t_1 d}{2+\beta} \left[\sqrt{2\beta(1+\beta) + \frac{4\beta(2+\beta)M_{y,d}}{f_{h,1,d} d t_1^2}} - \beta \right] = 1358 \text{ N} \\ 1,1 \frac{f_{h,1,d} t_2 d}{1+2\beta} \left[\sqrt{2\beta^2(1+\beta) + \frac{4\beta(1+2\beta)M_{y,d}}{f_{h,1,d} d t_2^2}} - \beta \right] = 1454 \text{ N} \\ 1,1 \sqrt{\frac{2\beta}{1+\beta}} \sqrt{2M_{y,d} f_{h,1,d} d} = 909 \text{ N} \Rightarrow \text{maßgebend} \end{cases}$$

Herausziehen:

Tragfähigkeitsklasse	$f_{h,1,k}$	$f_{h,2,k}$
III	$50 \cdot 10^{-6} \rho_k^2 = 7,22 \text{ N/mm}^2$	$600 \cdot 10^{-6} \rho_k^2 = 86,6 \text{ N/mm}^2$

$$f_{h,1,d} = \frac{k_{mod,1} f_{h,1,k}}{\gamma_M} = \frac{0,90 \cdot 7,22}{1,3} = 5,00 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{h,2,d} = \frac{k_{mod,2} f_{h,2,k}}{\gamma_M} = \frac{0,90 \cdot 86,6}{1,3} = 60,0 \text{ N/mm}^2$$

$$R_{ax,d} = \min. \begin{cases} f_{h,1,d} d l = 5,00 \cdot 4 \cdot 65 = 1300 \text{ N} \\ f_{h,2,d} d^2 = 60,0 \cdot 4^2 = 960 \text{ N} \Rightarrow \text{maßgebend} \end{cases}$$

$$F_{ax,d} = \text{Bemessungswert der Einwirkungen in Schafrichtung} \Rightarrow K_y = 0,90 \text{ kN}$$

$$F_{1a,d} = \text{Bemessungswert der Einwirkungen } \perp \text{ zur Schafrichtung} \Rightarrow K_z = 5,06 \text{ kN}$$

$$\left(\frac{F_{ax,d}}{R_{ax,d}} \right)^2 + \left(\frac{F_{1a,d}}{R_{1a,d}} \right)^2 = \left(\frac{0,90}{6 \cdot 0,96} \right)^2 + \left(\frac{5,06}{6 \cdot 0,91} \right)^2 = 0,88 < 1,00 \quad (\text{für 6 RNa 4x125-III})$$

Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit

Kombinationsbeiwerte

entfallen

Bemessungswert der Einwirkungen

$$S_d = \sum G_{k,j} + Q_{k,1} + \sum_{i>1} \Psi_{1,i} Q_{k,i}$$

$$q_z^G = e \cos^2 10^\circ G_k = 0,52 \text{ kN/m} ; q_y^G = e \cos 10^\circ \sin 10^\circ G_k = 0,09 \text{ kN/m}$$

$$q_z^Q = e \cos^2 10^\circ Q_k = 0,84 \text{ kN/m} ; q_y^Q = e \cos 10^\circ \sin 10^\circ Q_k = 0,15 \text{ kN/m}$$

Beiwerte k_{def} zur Berücksichtigung von Langzeitverformungen

für die Nutzungsklasse 1. „trockenes“ Vollholz:

Lasteinwirkungsdauer: k_{def} :

ständig	0,60	(Eigengewicht)
kurz	0,00	(Schnee + Wind)

EC 5: Gl. (6.3.1.2c)

EC 5: Gl. (6.2.1 n), γ_M für Stahl

$R_{1a,d}$ = Bemessungswert der Tragfähigkeit der Verbindung bei Beanspruchung rechtwinklig zur Nagelachse. EC 5: Gl. (6.2.1 a-f). Bemessungshilfen können z.B. der Folge 1 dieser Informationsschrift entnommen werden.

NAD: Tab. 6.3-1

$R_{ax,d}$ = Bemessungswert der Tragfähigkeit der Verbindung bei Beanspruchung in Schafrichtung. EC5: 6.3.2 (2)

EC 5: Gl. (6.3.3 b)

Da nur eine veränderliche Einwirkung angesetzt wird, entfallen die Kombinationsbeiwerte.

EC5: Gl.(4.1 a)

EC 5: Tab. 4.1

für die Nutzungsklasse 1. Vollholz mit einer Feuchte nahe des Fasersättigungsgrades:

Lasteinwirkungsdauer:	k_{def} :	
ständig	1,60	(Eigengewicht)
kurz	1,00	(Schnee + Wind)

Ermittlung der Durchbiegungen

für Verkehrslasten	$u_{2,inst}$	$\leq l/300$
für Verkehrslasten	$u_{2,fin}$	$\leq l/200$
für Gesamtlast	$u_{net,fin}$	$\leq l/200$

$$u_{2,inst,z,y} = k \frac{q_{z,y}^0 l^4}{E_{0,mean} I_{y,z}}; \quad u_{2,inst} = \sqrt{u_{2,inst,y}^2 + u_{2,inst,z}^2}$$

$$u_{net,fin,z,y} = k \frac{q_{z,y}^0 + q_{z,y}^G (1 + k_{def})}{E_{0,mean} I_{y,z}} l^4; \quad u_{net,fin} = \sqrt{u_{net,fin,y}^2 + u_{net,fin,z}^2} - u_o$$

Endfeld:

$$u_{2,inst,z} = 0,0064 \frac{0,84 \cdot 6,00^4 \cdot 10^{12}}{11000 \cdot 4096 \cdot 10^4} = 15,5 \text{ mm}$$

$$u_{2,inst,y} = 0,0064 \frac{0,15 \cdot 6,00^4 \cdot 10^{12}}{11000 \cdot 2304 \cdot 10^4} = 4,91 \text{ mm}$$

$$u_{2,inst} = u_{2,fin} = \sqrt{(15,5^2 + 4,91^2)} = 16 \text{ mm} = \frac{l}{368} < \frac{l}{300}$$

$$u_{net,fin} = \frac{1,60 \cdot 0,52 + 0,84}{0,84} 16 - 0 = 32 \text{ mm} = \frac{l}{185} > \frac{l}{200}$$

1. Innenfeld und übrige Innenfelder

Berechnung analog zum Endfeld.

1.2 Dachbinder

1.2.1 Satteldachbinder mit geradem Untergurt

Bauteilbeschreibung

Als Dachbinder soll ein symmetrischer Einfeldträger mit einer Dachneigung $\alpha = 3^\circ$ und einem Binderabstand von $e = 6,00 \text{ m}$ bemessen werden. Der Träger wird kontinuierlich gegen Kippen gehalten. Der Träger wird in Brettschichtholz der Festigkeitsklasse BS 14k ausgeführt.

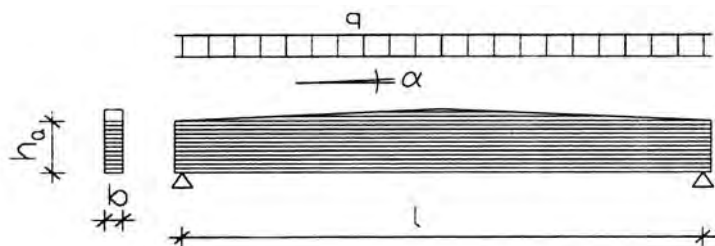


Bild 1.2 Bindergeometrie

h_a	=	700 mm
h_{aq}	=	1220 mm
α	=	3,00 °
b	=	160 mm
l	=	19,84 m

Die Werte k_{def} für Vollholz, das beim Einbau eine Holzfeuchte nahe dem Fasersättigungsbereich aufweist und im eingebauten Zustand austrocknen kann, sollten um 1,0 erhöht werden. EC 5: Tab. 4.1

Die Erhöhung für die kurzfristige Belastung Wind ist zwar formal erforderlich, aber nicht sinnvoll, da die Beanspruchung während der Austrocknung des Holzes in voller Höhe allenfalls kurzfristig wirkt.

Empfehlungen für Durchbiegungen: EC 5: 4.3.1 (2), (3)

Die k-Werte zur Berechnung der Durchbiegung der Koppelpfetten können Tabellenwerken entnommen werden.

Es wird ein „trockenes Vollholz“ berechnet.

Die Ermittlung von $u_{2,fin}$ ist hier nicht erforderlich, da infolge $k_{def} = 0$ für Schnee $u_{2,inst} = u_{2,fin}$ ist.

$E_{0,mean}$ aus NAD: Tab. 3.2-1

keine Überhöhung, $u_o = 0$

Der Tragwerksplaner sollte verantwortlich prüfen, ob die berechneten Verformungen die Gebrauchstauglichkeit des Tragwerkes einschränken; eventuell ist eine Neuberechnung vorzunehmen.

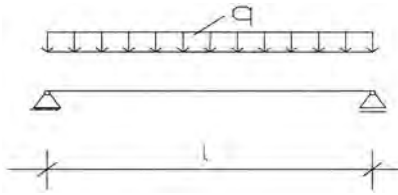
Statisches System

Bild 1.3 Belastung Binder

Einwirkungen**charakteristische Werte der Einwirkungen**

ständige Einwirkungen: (Eigengewicht)

$$\begin{aligned} \text{Dachaufbau (vgl. Absch. 1.1 S. 3)} & 0,47 \cdot 6,00 = 2,82 \text{ kN/m Gfl.} \\ \text{Eigengewicht Binder} & \approx 0,78 \text{ kN/m Gfl.} \\ G_k & \approx 3,60 \text{ kN/m Gfl.} \end{aligned}$$

veränderliche Einwirkungen: (Schnee)

$$Q_k = 0,75 \cdot 6,00 = 4,50 \text{ kN/m Gfl.}$$

Kombinationsbeiwerte

entfallen

Bemessungswert der Einwirkungen

$$S_d = \sum \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i>1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

Teilsicherheitsbeiwerte $\gamma_G = 1,35$ für ständige Einwirkungen $\gamma_Q = 1,5$ für veränderliche Einwirkungen

$$q = 1,35 \cdot 3,60 + 1,5 \cdot 4,50 = 11,6 \text{ kN/m}$$

Bemessungswert der BeanspruchungenQuerkraft:

$$\max V = \frac{q l}{2} = \frac{11,6 \cdot 19,84}{2} = 115 \text{ kN}$$

Biegemomente:- an der Stelle der größten Biegespannung $\xi_0 l$

$$M_{\xi_0} = \frac{1}{2} \xi_0 \xi_0' q l^2 = \frac{1}{2} 0,287 \cdot 0,713 \cdot 11,6 \cdot 19,84^2 = 467 \text{ kNm}$$

$$\text{mit } \xi_0 = \frac{h_a}{2h_{ap}} = \frac{700}{2 \cdot 1220} = 0,287 \quad \xi_0' = 1 - \xi_0 = 1 - 0,287 = 0,713$$

- in Feldmitte

$$M_{ap,d} = \frac{1}{8} q l^2 = \frac{1}{8} 11,6 \cdot 19,84^2 = 571 \text{ kNm}$$

Baustoffeigenschaften

Für die nachfolgende Bemessung wird die Festigkeitsklasse BS 14k gewählt. Bemessungswerte der Festigkeit s. S. 77.

Modifikationsfaktor

Es wird die Nutzungsklasse 1 angenommen.

Als charakteristische Werte der Einwirkungen gelten grundsätzlich die Werte der DIN-Normen, insbesondere die Werte der Normenreihe DIN 1055, und gegebenenfalls der bauaufsichtlichen Ergänzungen und Richtlinien (NAD: 2.2.2.2 (1)).

Schneelastzone III, Höhe über NN. ≤ 300 m.

Da nur eine veränderliche Einwirkung angesetzt wird, entfallen die Kombinationsbeiwerte.

EC 5: Gl. (2.3.2.2 a)

EC 5: Tab. 2.3.3.1

EC5: 3.1.5

Lasteinwirkungsdauer:	k_{mod} :	
ständig:	0,60	(Eigengewicht)
kurz:	0,90	(Schnee) \Rightarrow maßgebend

Grenzzustände der Tragfähigkeit

Schub am Auflager:

$$\tau_d = \frac{3 \max V}{2 h_a b} = \frac{3 \cdot 115 \cdot 10^3}{2 \cdot 700 \cdot 160} = 1,54 \text{ N/mm}^2 \quad \frac{\tau_d}{f_{v,g,d}} = \frac{1,54}{1,87} = 0,82 < 1,00$$

Nachweis der Biegespannungen an der Stelle der maximalen Spannungen:

$$\sigma_{m,d} = \frac{M_{\xi_0}}{W_{\xi_0}} = \frac{467 \cdot 10^6 \cdot 6}{160 \cdot 998^2} = 17,6 \text{ N/mm}^2 \quad \text{mit: } h_{\xi_0} = 998 \text{ mm}$$

$$\frac{\sigma_{m,d}}{f_{m,g,d}} = \frac{17,6}{19,4} = 0,91 < 1,00$$

Nachweis der Biegespannungen am angeschnittenen Rand:

$$\sigma_{m,\alpha,d} = (1 - 4 \tan^2 \alpha) \frac{M_{\xi} \cdot 6}{b h_{\xi}^2} = (1 - 4 \tan^2 3^\circ) \frac{467 \cdot 10^6 \cdot 6}{160 \cdot 998^2} = 17,4 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{m,\alpha,g,d} = \frac{f_{m,g,d}}{\frac{f_{c,90,g,d}}{f_{m,g,d}} \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} = \frac{19,4}{3,81 \sin^2 3^\circ + \cos^2 3^\circ} = 19,2 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{\sigma_{m,\alpha,d}}{f_{m,\alpha,g,d}} = \frac{17,4}{19,2} = 0,91 < 1,00$$

Querzug:

$$\sigma_{t,90,d} = k_p \frac{M_{ap,d}}{W_{ap}} \leq \left(\frac{V_0}{V} \right)^{0,2} k_{dis} f_{t,90,g,d}$$

mit $k_{dis} = 1,4$

$$V = b h_{ap} (2 h_{ap} - 0,5 h_{ap} \tan \alpha) / 2 = 0,24 \text{ m}^3 \quad V_0 = 0,01 \text{ m}^3 \text{ (Bezugsvolumen)}$$

$$\left(\frac{V_0}{V} \right)^{0,2} = \left(\frac{0,01}{0,24} \right)^{0,2} = 0,53$$

$$k_p = k_5 + k_6 \left(\frac{h_{ap}}{r} \right) + k_7 \left(\frac{h_{ap}}{r} \right)^2 = 0,01 \quad \text{mit} \quad \left(\frac{h_{ap}}{r} \right) = 0$$

$$k_5 = 0,20 \tan \alpha = 0,01$$

$$\sigma_{t,90,d} = k_p \frac{M_{ap,d}}{b h_{ap}^2} = 0,01 \frac{571 \cdot 10^6 \cdot 6}{160 \cdot 1220^2} = 0,14 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{\sigma_{t,90,d}}{\left(\frac{V_0}{V} \right)^{0,2} k_{dis} f_{t,90,g,d}} = \frac{0,14}{0,53 \cdot 1,40 \cdot 0,31} = 0,63 < 1,00$$

Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit

Kombinationsbeiwerte

entfallen

Bemessungswert der Einwirkungen

$$S_d = \sum G_{k,j} + Q_{k,1} + \sum_{i>1} \Psi_{1,i} Q_{k,i}$$

EC 5: Tab. 3.1.7

Maßgebend ist der k_{mod} -Wert der Einwirkung mit der kürzesten Lasteinwirkungsdauer (EC 5: 3.1.7(2)). Vorberechnungen haben ergeben, daß der Lastfall Eigengewicht, mit $k_{mod} = 0,6$, für die Bemessung nicht maßgebend ist.

EC 5: Gl. (5.2.3 b)

EC 5: Gl. (5.2.3 e)

EC 5: Gl. (5.2.4 k-l)

EC 5: 5.2.4 (5)

V = querzugbeanspruchtes Volumen
Volumenberechnung gemäß Bindergeometrie (EC 5: Bild 5.2.4 (a)).

EC 5: Gl. (5.2.4 m)

Bei Satteldachträgern mit geradem Untergurt wird ($h_{ap}/r = 0$)

EC 5: Gl. (5.2.4 n)

EC 5: Gl. (5.2.4 l)

Da nur eine veränderliche Einwirkung angesetzt wird, entfallen die Kombinationsbeiwerte

EC 5: Gl. (4.1 a)

ständige Einwirkungen: (Eigengewicht)

$$q_z^G = 3,60 \text{ kN/m Gfl.}$$

veränderliche Einwirkungen: (Schnee)

$$q_z^G = 4,50 \text{ kN/m Gfl.}$$

Beiwerte k_{def} zur Berücksichtigung der Langzeitverformungen

Lasteinwirkungsdauer:	k_{def}	
ständig	0,60	(Eigengewicht)
kurz	0,00	(Schnee + Wind)

EC 5: Tab. 4.1

Ermittlung der Durchbiegungen

für Verkehrslasten	$U_{inst} \leq l/300$
für Verkehrslasten	$U_{2,fin} \leq l/200$
für Gesamtlast	$U_{net,fin} \leq l/200$

Empfehlungen für Durchbiegungen:
EC 5: 4.3.1 (2), (3)

$$U_{2,inst} = \frac{5 q_z^Q l^4}{384 E_{0,g,mean} I_y} = \frac{5 \cdot 4,50 \cdot 19,84^4 \cdot 10^{12} \cdot 12}{384 \cdot 12500 \cdot 160 \cdot 1050^3} = 47 \text{ mm} = \frac{l}{422} < \frac{l}{300}$$

$$U_{net,fin} = \frac{5 (q_z^G (1 + k_{def}) + q_z^Q) l^4}{384 E_{0,g,mean} I_y} - u_0$$

$$U_{net,fin} = \frac{5 (3,60 (1 + 0,60) + 4,50) 19,84^4 \cdot 10^{12} \cdot 12}{384 \cdot 12500 \cdot 160 \cdot 1050^3} - 80 = 27 \text{ mm} = \frac{l}{727} < \frac{l}{200}$$

Durchbiegung in Feldmitte näherungsweise mit der Höhe im Dreiteilspunkt $h(l/3) = 1050 \text{ mm}$
 $E_{0,g,mean}$ aus NAD: Tab. 3.3-1

gewählte Überhöhung, $u_0 = 80 \text{ mm}$

1.2.2 Satteldachbinder mit lose aufgesatteltem Firstkeil

Bauteilbeschreibung

Im folgenden soll ein Satteldachbinder mit *lose aufgesatteltem Firstkeil* bemessen werden. Der Träger wird im Abstand $a = 3,45 \text{ m}$ gegen Kippen gehalten. Es wird Brettschichtholz der Festigkeitsklasse BS 14k gewählt.

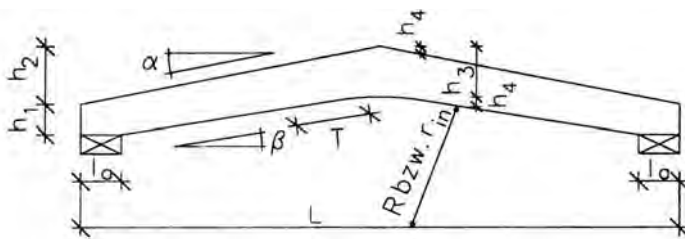


Bild 1.4 Bindergeometrie

$h_1 = 600 \text{ mm}$	$R = r_{in} = 25,0 \text{ m}$
$h_2 = 1770 \text{ mm}$	$T = 2,79 \text{ m}$
$h_3 = 1250 \text{ mm}$	$\alpha = 10,00^\circ$
$h_4 = 155 \text{ mm}$	$\beta = 6,37^\circ$
$b = 160 \text{ mm}$	$L = 20,08 \text{ m}$
$l_a = 240 \text{ mm}$	$l = 19,84 \text{ m}$

Ausbildung der Auflager als Gabel-lagerung

Statisches System

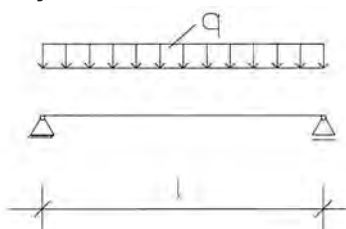


Bild 1.5 Binder

Einwirkungen

charakteristische Werte der Einwirkungen

ständige Einwirkungen: (Eigengewicht)

$$\begin{aligned} \text{Dachaufbau (vgl. Abschn. 1.1 S. 49)} & 0,47 \cdot 6,00 = 2,82 \text{ kN/m Gfl.} \\ \text{Eigengewicht Binder} & \approx 0,78 \text{ kN/m Gfl.} \\ G_k & \approx 3,60 \text{ kN/m Gfl.} \end{aligned}$$

veränderliche Einwirkungen: (Schnee)

$$Q_k = 0,75 \cdot 6,00 = 4,50 \text{ kN/m Gfl.}$$

Kombinationsbeiwerte

entfallen

Bemessungswert der Einwirkungen

$$\sum \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i>1} \gamma_{Q,i} \Psi_{0,i} Q_{k,i}$$

Teilsicherheitsbeiwerte

$\gamma_G = 1,35$ für ständige Einwirkungen
 $\gamma_Q = 1,5$ für veränderliche Einwirkungen

$$q = 1,35 \cdot 3,60 + 1,5 \cdot 4,50 = 11,6 \text{ kN/m}$$

Bemessungswert der Beanspruchungen

Querkraft:

$$\max V = \frac{ql}{2} = \frac{11,6 \cdot 19,84}{2} = 115 \text{ kN}$$

Biegemomente:

- an der Stelle der größten Biegespannung $\xi_0 l$

$$M_{\xi_0} = \frac{1}{2} \xi_0 \xi_0' ql^2 = \frac{1}{2} 0,24 \cdot 0,76 \cdot 11,6 \cdot 19,84^2 = 416 \text{ kNm}$$

$$\xi_0 = \frac{h_1}{2h_3} = \frac{600}{2 \cdot 1250} = 0,24 \quad \xi_0' = 1 - \xi_0 = 1 - 0,24 = 0,76$$

- in Feldmitte

$$M_{ap,d} = \frac{1}{8} ql^2 = \frac{1}{8} 11,6 \cdot 19,84^2 = 571 \text{ kNm}$$

Baustoffeigenschaften

Für die nachfolgende Bemessung wird die Festigkeitsklasse BS 14k gewählt. Bemessungswerte der Festigkeit s. S. 77.

Modifikationsfaktor

Es wird die Nutzungsklasse 1 angenommen.

Lasteinwirkungsdauer: k_{mod} :

ständig: 0,60 (Eigengewicht)
kurz: 0,90 (Schnee) \Rightarrow maßgebend

Als charakteristische Werte der Einwirkungen gelten grundsätzlich die Werte der DIN-Normen, insbesondere die Werte der Normenreihe DIN 1055 und gegebenenfalls der bauaufsichtlichen Ergänzungen und Richtlinien (NAD: 2.2.2.2 (1)).

Schneelastzone III, Höhe über NN ≤ 300 m

Da nur eine veränderliche Einwirkung angesetzt wird, entfallen die Kombinationsbeiwerte.

EC 5: Gl. (4.1 a)

EC 5: Tab. 2.3.3.1

EC 5: Tab. 3.1.5

EC 5: Tab. 3.1.7
Maßgebend ist der k_{mod} -Wert der Einwirkung mit der kürzesten Lasteinwirkungsdauer (EC 5: 3.1.7 (2)).

Grenzzustände der Tragfähigkeit**Schub am Auflager**

$$\tau_d = \frac{3 \max V}{2 h_1 b} = \frac{3 \cdot 115 \cdot 10^3}{2 \cdot 600 \cdot 160} = 1,80 \text{ N/mm}^2 \quad \frac{\tau_d}{f_{v,g,d}} = \frac{1,80}{1,87} = 0,96 < 1,00$$

Auflagerpressung

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{\max V}{l_a b} = \frac{115 \cdot 10^3}{240 \cdot 160} = 2,99 \text{ N/mm}^2 \quad k_{c,90} = 1,0$$

$$\frac{\sigma_{c,90,d}}{k_{c,90} f_{c,90,g,d}} = \frac{2,99}{1,0 \cdot 3,81} = 0,79 < 1,00$$

Nachweis der Biegespannungen an der Stelle der max. Spannungen

$$\sigma_{m,d} = \frac{M_{\xi_0}}{W_{\xi_0}} = \frac{416 \cdot 10^6 \cdot 6}{160 \cdot 912^2} = 18,8 \text{ N/mm}^2 \quad \text{mit: } h_{\xi_0} = 912 \text{ mm}$$

$$\frac{\sigma_{m,d}}{f_{m,g,d}} = \frac{18,8}{19,4} = 0,97 < 1,00$$

Querzug

$$\frac{\sigma_{t,90,d}}{k_{dis} (V_0 / V)^{0,2} f_{t,90,g,d}} = \frac{0,17}{1,4 \cdot 0,39 \cdot 0,31} = 1,00 = 1,00$$

mit $k_{dis} = 1,4$ $V_0 = 0,01 \text{ m}^3$ (Bezugsvolumen) $h_{ap} = h_3 = 1250 \text{ mm}$

$$V \leq \left(r_{in} + \frac{h_{ap}}{2} \right) \frac{\pi}{180^\circ} 2\beta h_{ap} b = \left(25,0 + \frac{1,25}{2} \right) \frac{\pi}{180^\circ} 2 \cdot 6,37^\circ \cdot 1,25 \cdot 0,16 = 1,14 \text{ m}^3 \leq \frac{2}{3} V_b$$

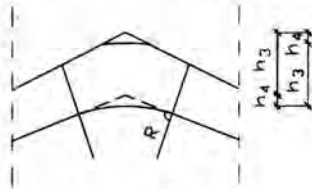


Bild 1.6 Bestimmung des querzugbeanspruchten Volumens

$$\left(\frac{V_0}{V} \right)^{0,2} = \left(\frac{0,01}{1,14} \right)^{0,2} = 0,39$$

$$\sigma_{t,90,d} = k_p \frac{M_{ap,d}}{b h_{ap}^2} = 0,0122 \frac{571 \cdot 10^6 \cdot 6}{160 \cdot 1250^2} = 0,17 \text{ N/mm}^2$$

$$k_p = k_5 + k_6 \left(\frac{h_{ap}}{r} \right) + k_7 \left(\frac{h_{ap}}{r} \right)^2 = 0,25 \cdot 0,0488 = 0,0122$$

mit $r = r_{in} + 0,5 h_{ap} = 25,0 + 0,5 \cdot 1,25 = 25,6 \text{ m}$

$$\frac{h_{ap}}{r} = \frac{1,25}{25,6} = 0,00488$$

$$k_5 = 0,2 \tan \alpha = 0$$

$$k_6 = 0,25 - 1,5 \tan \alpha + 2,6 \tan^2 \alpha = 0,25$$

$$k_7 = 2,1 \tan \alpha - 4 \tan^2 \alpha = 0$$

Nachweis der Randspannungen am angeschnittenen Rand

$$f_{m,\alpha,g,d} = \frac{f_{m,g,d}}{\frac{f_{m,g,d}}{f_{c,90,g,d}} \sin^2 \delta + \cos^2 \delta} = \frac{19,4}{\frac{19,4}{3,81} \sin^2 3,63^\circ + \cos^2 3,63^\circ} = 19,1 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{m,\alpha,g,d} = (1 - 4 \tan^2 \delta) \frac{6 M_{\xi_0}}{b h_{\xi_0}^2} = (1 - 4 \tan^2 3,63^\circ) 18,8 = 18,5 \text{ N/mm}^2$$

$k_{c,90} = 1,0$ für $l_a \geq 150 \text{ mm}$
EC 5: Tab. 5.1.5

EC 5: Gl. (5.2.4 k-p)

EC 5: 5.2.4(5)

V = Volumen des querzugbeanspruchten Firstbereiches EC 5: 5.2.4 (5).
 V_b = Gesamtvolumen des Trägers EC 5: 5.2.4(4)

Die lose Fuge wird derart angeordnet, daß der Querschnittszuwachs durch die Ausrundung am unteren Querschnittsrand oben wieder abgetrennt wird. Dadurch wächst der Querschnitt vom Auflager zur Trägermitte stetig trapezförmig an. Die maximale Querzugspannung wird für die Spannungsnullachse in Feldmitte berechnet. Für die Tragfähigkeit von Satteldachbindern ist es im Hinblick auf die Überschreitung der Querzugfestigkeit weitgehend unerheblich, ob und wo eine lose Fuge angeordnet wird [1,2]. Eine konstruktive Querzugsicherung wird grundsätzlich für erforderlich erachtet [3].

EC 5: Bild 5.2.4 (b)

Bei gekrümmten Trägern mit konstanter Firsthöhe ist $\alpha = 0$

EC 5: Gl.(5.2.3e)

$\delta = \alpha - \beta$ = Faseranschnittwinkel

EC 5: Gl. (5.2.3 b)

$$\frac{\sigma_{m,\alpha,d}}{f_{m,\alpha,g,d}} = \frac{18,5}{19,1} = 0,97 < 1,00$$

Kippsicherheitsnachweis

$$\sigma_{m,d} \leq k_{crit} f_{m,g,d}$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{l_{ef} h_{\xi 0}}{\pi b^2}} \sqrt{\frac{f_{m,g,k}}{E_{0,g,mean}}} \sqrt{\frac{G_{g,mean}}{G_{g,mean}}} = \sqrt{\frac{3450 \cdot 912}{\pi 160^2}} \sqrt{\frac{28}{10000}} \sqrt{\frac{12500}{780}} = 0,66$$

mit: $l_{ef} = 3450 \text{ mm}$; $h_{\xi 0} = 912 \text{ mm}$

$$k_{crit} = \begin{cases} 1 & \text{für } \lambda_{rel,m} \leq 0,75 \\ 1,56 - 0,75 \lambda_{rel,m} & \text{für } 0,75 < \lambda_{rel,m} \leq 1,40 \\ 1/\lambda_{rel,m}^2 & \text{für } 1,40 < \lambda_{rel,m} \end{cases}$$

$$\Rightarrow k_{crit} = 1,0$$

$$\frac{\sigma_{m,d}}{k_{crit} f_{m,g,d}} = \frac{18,8}{1,0 \cdot 19,4} = 0,97 < 1,00$$

Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit

Kombinationsbeiwerte

entfallen

Bemessungswert der Einwirkungen

$$S_d = \sum G_{k,j} + Q_{k,1} + \sum_{i>1} \Psi_{1,i} Q_{k,i}$$

ständige Einwirkungen: (Eigengewicht)

$$q_z^S = 3,60 \text{ kN/m Gfl.}$$

veränderliche Einwirkungen: (Schnee)

$$q_z^S = 4,50 \text{ kN/m Gfl.}$$

Beiwerte k_{def} zur Berücksichtigung der Langzeitverformungen

Lasteinwirkungsdauer:	k_{def}	
ständig	0,60	(Eigengewicht)
kurz	0,00	(Schnee + Wind)

Ermittlung der Durchbiegungen

für Verkehrslasten	$u_{2,inst} \leq l/300$	($l/150$ für Kragträger)
für Verkehrslasten	$u_{2,fin} \leq l/200$	($l/100$ für Kragträger)
für Gesamtlast	$u_{net,fin} \leq l/200$	($l/100$ für Kragträger)

Es wird mit den Querschnittswerten im Drittelpunkt gerechnet

$$h_{(l/3)} = h_1 + \frac{2}{3} (h_3 - h_1) = 600 + \frac{2}{3} (1250 - 600) = 1033 \text{ mm}$$

$$u_{2,inst} = \frac{5 q_z^S l^4}{384 E_{0,g,mean} I_y} = \frac{5 \cdot 4,50 \cdot 19,84^4 \cdot 10^{12} \cdot 12}{384 \cdot 12500 \cdot 160 \cdot 1033^3} = 49 \text{ mm} = \frac{l}{402} < \frac{l}{300}$$

$$u_{net,fin} = \frac{5 (q_z^S (1 + k_{def}) + q_z^O) l^4}{384 E_{0,g,mean} I_y} - u_o$$

EC 5: Gl. (5.2.2 b)

EC 5: Gl. (5.2.2 a), NAD: 5.2.2 (2)
Charakteristische Steifigkeiten und Festigkeiten aus NAD: Tab. 3.3-1

EC 5: Gl. (5.2.2 c)

EC 5: Gl. (5.2.2 d)

EC 5: Gl. (5.2.2 e)

Da nur eine veränderliche Einwirkung angesetzt wird, entfallen die Kombinationsbeiwerte.

EC5: Gl.(4.1 a)

EC 5: Tab. 4.1

Empfehlungen für Durchbiegungen:
EC 5: 4.3.1 (2), (3)

$h_{(l/3)}$ = Höhe im Drittelpunkt

$u_{net,fin}$ wird nicht maßgebend, wenn eine hinreichend große Überhöhung angenommen wird.
 $E_{0,g,mean}$ aus NAD: Tab. 3.3-1

1.2.3 Satteldachbinder mit aufgeleimtem Firstkeil

Bauteilbeschreibung

Im folgenden soll ein Satteldachbinder mit *fest aufgeleimtem Firstkeil* bemessen werden. Es wird Brettschichtholz der Festigkeitsklasse BS 14k gewählt. (Tragsicherheitsnachweise, Bindergeometrie und Binderbelastung analog zum Satteldachbinder mit lose aufgesattelttem Firstkeil.)

$$\begin{aligned} h_1 &= 700 \text{ mm} & R = r_{in} &= 35,0 \text{ m} \\ h_2 &= 1770 \text{ mm} & T &= 1,94 \text{ m} \\ h_3 &= 1900 \text{ mm} & \alpha &= 10,00^\circ \\ h_4 &= 54 \text{ mm} & \beta &= 3,17^\circ \\ h_{ap} &= 1954 \text{ mm} & l &= 19,84 \text{ m} \\ b &= 200 \text{ mm} & L &= 20,08 \text{ m} \end{aligned}$$

Querzug:

$$\sigma_{t,90,d} = k_p \frac{6 M_{ap,d}}{b h_{ap}^2} \leq k_{dis} \left(\frac{V_0}{V} \right)^{0,2} f_{t,90,g,d} \quad \delta = \alpha - \beta = \text{Faseranschnittwinkel}$$

mit:

$$k_{dis} = 1,7 \quad V_0 = 0,01 \text{ m}^3 \quad (\text{Bezugsvolumen})$$

$$\begin{aligned} h_r &= h_1 + (l/2 - r_{in} \sin \beta) \tan(\alpha - \beta) = \\ &= 0,70 + (19,84/2 - 35,0 \sin 3,17^\circ) \tan(10^\circ - 3,17^\circ) = 1,66 \text{ m} \end{aligned}$$

$$V_1 = k_{vol,1} b h_r^2 = 2,34 \cdot 0,20 \cdot 1,66^2 = 1,29 \text{ m}^3$$

$$V_2 = k_{vol,2} V_1 = 0,024 \cdot 1,29 = 0,03 \text{ m}^3$$

$$V_3 = k_{vol,3} V_2 = 2,70 \cdot 0,03 = 0,08 \text{ m}^3$$

$$V = 1,40 \text{ m}^3$$

$$\left(\frac{V_0}{V} \right)^{0,2} = \left(\frac{0,01}{1,40} \right)^{0,2} = 0,37$$

$$k_p = k_5 + k_6 \left(\frac{h_{ap}}{r} \right) + k_7 \left(\frac{h_{ap}}{r} \right)^2 = 0,0396$$

$$\text{mit} \quad r = r_{in} + \frac{1}{2} h_{ap} = 35,0 + \frac{1}{2} \cdot 1,95 = 36,0 \text{ m}$$

$$\frac{h_{ap}}{r} = \frac{1,95}{36,0} = 0,0543$$

$$k_5 = 0,2 \tan \alpha = 0,0353$$

$$k_6 = 0,25 - 1,5 \tan \alpha + 2,6 \tan^2 \alpha = 0,0663$$

$$k_7 = 2,1 \tan \alpha - 4 \tan^2 \alpha = 0,2459$$

$$\sigma_{t,90,d} = k_p \frac{M_{ap}}{W_{ap}} = 0,0396 \frac{611 \cdot 10^6 \cdot 6}{200 \cdot 1954^2} = 0,19 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{\sigma_{t,90,d}}{k_{dis} \left(\frac{V_0}{V} \right)^{0,2} f_{t,90,g,d}} = \frac{0,19}{1,7 \cdot 0,37 \cdot 0,31} = 0,98 < 1,00$$

1.2.4 Dreigelenkstabzug

Bauteilbeschreibung

Als Dachbinder soll ein Dreigelenkstabzug mit einer Dachneigung $\alpha = 20^\circ$ und einem Binderabstand $e = 6,00 \text{ m}$ bemessen werden. Die Stahlteile werden aus Stahl Fe 510, die Druckstäbe aus Brettschichtholz der Festigkeitsklasse BS 14k hergestellt. Die Druckstäbe werden rechtwinklig zur Stabzugebene im Abstand $a = 3,45 \text{ m}$ gegen Kippen gehalten.

EC 5: Gl. (5.2.4 k-l)

$f_{t,90,g,d}$ von S. 77

EC 5: 5.2.4(5)

V = Volumen des querzugbeanspruchten Firstbereiches (EC 5 5.2.4 (5)).

V_b = Gesamtvolumen des Trägers EC 5 5.2.4 (4)

Die Formeln zur Volumenbestimmung wurden der ersten Folge dieser Informationsschrift entnommen.

EC 5 Gl. (5.2.4 m-p)

M_{ap} größer als bei Pos. 1.2.2 wegen höheren Eigengewichts

Fe 510 entspricht St 52-3, s. Tab. R2 NAD zum EC 3

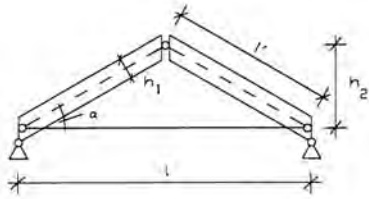


Bild 1.7 Geometrie des Dreigelenkstabzuges

$$h_1 = 550 \text{ mm} \quad b = 160 \text{ mm} \quad \alpha = 20,0^\circ$$

$$h_2 = 3,61 \text{ m} \quad l = 19,84 \text{ m} \quad l' = 10,6 \text{ m}$$

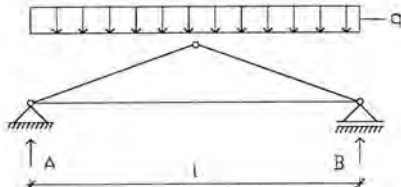


Bild 1.8 Statisches System

Einwirkungen

charakteristische Werte der Einwirkungen

ständige Einwirkungen: (Eigengewicht)

$$\text{Dachaufbau (vgl. Absch. 1.1 S. 49)} \quad 0,47 \cdot 6,00 = 2,82 \text{ kN/m Gfl.}$$

$$\text{Eigengewicht Binder} \quad \approx 0,48 \text{ kN/m Gfl.}$$

$$G_k \approx 3,30 \text{ kN/m Gfl.}$$

veränderliche Einwirkungen: (Schnee)

$$Q_k = 0,75 \cdot 6,00 = 4,50 \text{ kN/m Gfl.}$$

Kombinationsbeiwerte

entfallen

Bemessungswert der Einwirkungen

$$\sum \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i>1} \gamma_{Q,i} \Psi_{0,i} Q_{k,i}$$

Teilsicherheitsbeiwerte

$\gamma_G = 1,35$ für ständige Einwirkungen

$\gamma_Q = 1,5$ für veränderliche Einwirkungen

$$q = 1,35 \cdot 3,30 + 1,5 \cdot 4,50 = 11,2 \text{ kN/m}$$

Bemessungswert der Beanspruchungen

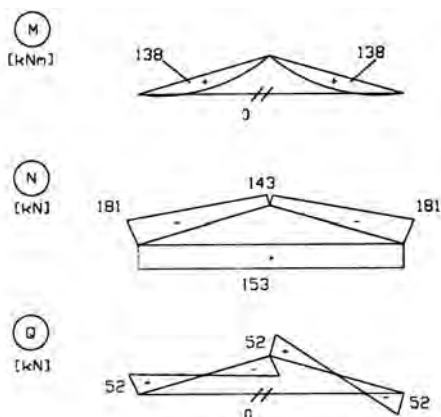


Bild 1.9 Schnittgrößen des Dreigelenkstabzuges

Als charakteristische Werte der Einwirkungen gelten grundsätzlich die Werte der DIN-Normen, insbesondere die Werte der Normenreihe DIN 1055, und gegebenenfalls der bauaufsichtlichen Ergänzungen und Richtlinien (NAD: 2.2.2.2 (1)).

Schneelastzone III, Höhe über NN. $\leq 300 \text{ m}$.

Da nur eine veränderliche Einwirkung angesetzt wird, entfallen die Kombinationsbeiwerte

EC 5: Gl. (2.3.2.2 a)

EC 5: Tab. 2.3.3.1

Baustoffeigenschaften

Für die nachfolgende Bemessung wird die Festigkeitsklasse BS 14k gewählt. Bemessungswerte der Festigkeit s. S. 77.

Modifikationsfaktor

Es wird die Nutzungsklasse 1 angenommen.

Lasteinwirkungsdauer:	k_{mod} :		
ständig:	0,60	(Eigengewicht)	
kurz:	0,90	(Schnee)	⇒ maßgebend

Grenzzustände der Tragfähigkeit

gew.: BS 14k b/h = 160/550

Schub am Auflager:

$$\tau_d = \frac{3 \max V}{2 h_1 b} = \frac{3 \cdot 52,2 \cdot 10^3}{2 \cdot 550 \cdot 160} = 0,89 \text{ N/mm}^2 \quad \frac{\tau_d}{f_{v,g,d}} = \frac{0,89}{1,87} = 0,48 < 1,00$$

Auflagerpressung:

$$\sigma_{c,\alpha,d} = \frac{\max V}{l_a b} = \frac{111 \cdot 10^3}{240 \cdot 160} = 2,89 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{c,\alpha,g,d} = \frac{f_{c,0,g,d}}{\frac{f_{c,0,g,d}}{f_{c,90,g,d}} \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} = \frac{19,0}{\frac{19,0}{3,81} \sin^2 70^\circ + \cos^2 70^\circ} = 4,21 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{\sigma_{c,\alpha,d}}{f_{c,\alpha,g,d}} = \frac{2,89}{4,21} = 0,69 < 1,00$$

Knick-Kippsicherheitsnachweis:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} f_{c,0,g,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit} f_{m,g,d}} \leq 1,00 \quad \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} f_{c,0,g,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit} f_{m,g,d}} \leq 1,00$$

$$\lambda_y = s_{ky} / i_y = 10,6 \cdot 10^3 / 159 = 67 \quad \text{mit } s_{ky} = 10,6 \cdot 10^3 \text{ mm} \quad i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = 159 \text{ mm}$$

$$\lambda_z = s_{kz} / i_z = 3,45 \cdot 10^3 / 46 = 75 \quad \text{mit } s_{kz} = 3,45 \cdot 10^3 \text{ mm} \quad i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A}} = 46 \text{ mm}$$

$$\sigma_{c,crit,y} = \frac{\pi^2 E_{0,05}}{\lambda_y^2} = \frac{\pi^2 10000}{67^2} = 22,0 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{c,crit,z} = \frac{\pi^2 E_{0,05}}{\lambda_z^2} = \frac{\pi^2 10000}{75^2} = 17,6 \text{ N/mm}^2$$

$$\lambda_{rel,y} = \sqrt{\frac{f_{c,0,g,k}}{\sigma_{c,crit,y}}} = \sqrt{\frac{27,5}{22,0}} = 1,12$$

$$\lambda_{rel,z} = \sqrt{\frac{f_{c,0,g,k}}{\sigma_{c,crit,z}}} = \sqrt{\frac{27,5}{17,6}} = 1,25$$

$$k_y = 0,5 \left(1 + \beta_c (\lambda_{rel,y} - 0,5) + \lambda_{rel,y}^2 \right) = 0,5 \left(1 + 0,1(1,12 - 0,5) + 1,12^2 \right) = 1,16$$

$$k_z = 0,5 \left(1 + \beta_c (\lambda_{rel,z} - 0,5) + \lambda_{rel,z}^2 \right) = 0,5 \left(1 + 0,1(1,25 - 0,5) + 1,25^2 \right) = 1,32$$

$$k_{c,y} = 1 / \left(k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2} \right) = 1 / \left(1,16 + \sqrt{1,16^2 - 1,12^2} \right) = 0,68$$

$$k_{c,z} = 1 / \left(k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2} \right) = 1 / \left(1,32 + \sqrt{1,32^2 - 1,25^2} \right) = 0,57$$

BS 14k bezeichnet ein kombiniertes Brettschichtholz, s. Fußnote NAD: Tab. 3.3-1

EC 5: Tab.3.1.5

EC 5: Tab. 3.1.7

Maßgebend ist der k_{mod} -Wert der Einwirkung mit der kürzesten Lasteinwirkungsdauer (EC 5: 3.1.7(2)).

EC 5: Gl.(5.1.5b)

EC 5: Gl. (5.2.1 a-h) und
Gl. (5.2.2 a-f)

NAD: 5.2.1 (4) – danach ist beim Stabilitätsnachweis neben dem Knicken auch das Kippen zu berücksichtigen. Das läßt sich formal wie hier gezeigt durchführen, wenn auch die tatsächliche Beanspruchung – Biegedrillknicken – damit nur unzureichend beschrieben wird.

Die folgenden charakteristischen Steifigkeiten und Festigkeiten sind dem NAD: Tab. 3.3-1 entnommen.

$\beta_c = 0,1$ für Brettschichtholz

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_d}{A} = \frac{(181 + 143) \cdot 10^3}{2 \cdot 160 \cdot 550} = 1,85 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_d}{W_y} = \frac{138 \cdot 10^6 \cdot 6}{160 \cdot 550^2} = 17,1 \text{ N/mm}^2$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{f_{m,g,k} / \sigma_{m,crit}} = \sqrt{28,0 / 106} = 0,51 \Rightarrow k_{crit} = 1$$

$$\text{mit } \sigma_{m,crit} = \frac{\pi b^2 E_{0,g,0,5} \sqrt{G_{g,mean}}}{I_{ef} h \sqrt{E_{0,g,mean}}} = \frac{\pi 160^2 \cdot 10000 \sqrt{780}}{3,45 \cdot 10^3 \cdot 550 \sqrt{12500}} = 106 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{1,85}{0,68 \cdot 19,0} + \frac{17,1}{19,4} = 1,02 \approx 1,00 \quad \text{und} \quad \frac{1,85}{0,57 \cdot 19,0} + 0,7 \cdot \frac{17,1}{19,4} = 0,79 < 1,00$$

Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit

Kombinationsbeiwerte

entfallen

Bemessungswert der Einwirkungen

$$S_d = \sum G_{k,j} + Q_{k,1} + \sum_{i>1} \Psi_{1,i} Q_{k,i}$$

ständige Einwirkungen: (Eigengewicht)

$$q_z^S = 3,30 \text{ kN/m Gfl.}$$

veränderliche Einwirkungen: (Schnee)

$$q_z^G = 4,50 \text{ kN/m Gfl.}$$

Beiwerte k_{def} zur Berücksichtigung der Langzeitverformungen

Lasteinwirkungsdauer:	k_{def}	
ständig	0,60	(Eigengewicht)
kurz	0,00	(Schnee + Wind)

Ermittlung der Durchbiegungen

für Verkehrslasten	$u_{2,inst} \leq l/300$	($l/150$ für Kragträger)
für Verkehrslasten	$u_{2,fin} \leq l/200$	($l/100$ für Kragträger)
für Gesamtlast	$u_{net,fin} \leq l/200$	($l/100$ für Kragträger)

$$u_{2,inst} = \frac{5 q_z^Q l^4}{384 E_{0,g,mean} \cos^2 \alpha I_y} = \frac{5 \cdot 4,50 \cdot 9,92^4 \cdot 10^{12} \cdot 12}{384 \cdot 12500 \cdot \cos^2 20^\circ \cdot 160 \cdot 550^3}$$

$$u_{2,inst} = 23 \text{ mm} = \frac{l}{456} < \frac{l}{300}$$

$$u_{net,fin} = \frac{5 (q_z^Q + q_z^G (1 + k_{def})) l^4}{384 E_{0,g,mean} \cos^2 \alpha I_y} - u_0 = \frac{5 (4,50 + 3,30 \cdot 1,60) \cdot 9,92^4 \cdot 10^{12} \cdot 12}{384 \cdot 12500 \cdot \cos^2 20^\circ \cdot 160 \cdot 550^3} - 0$$

$$u_{net,fin} = 51 \text{ mm} = \frac{l}{207} < \frac{l}{200}$$

Nachweis der Verbindungen (Darstellung s.S. 64)

Stabdübel $\phi 16$ aus Stahl Fe 360 (S 235)

$$M_{y,d} = 0,8 f_{u,k} d^3 / (6 \gamma_M) = 0,8 \cdot 360 \cdot 16^3 / (6 \cdot 1,1) = 179 \cdot 10^3 \text{ Nmm}$$

mit $f_{u,k} = 360 \text{ N/mm}^2$ charakteristischer Wert der Zugfestigkeit

Für wirtschaftliche Konstruktionen ist $k_{crit} = 1$ anzustreben.

NAD: 5.2.2 (2)

Da nur eine veränderliche Einwirkung angesetzt wird, entfallen die Kombinationsbeiwerte.

EC 5: Gl. (4.1 a)

EC 5: Tab. 4.1

Empfehlungen für Durchbiegungen:
EC 5: 4.3.1 (2), (3)

$E_{0,g,mean}$ aus NAD: Tab. 3.3-1

angenommene Überhöhung $u_0 = 0$

EC5: Gl. (6.5.1.2e), $\gamma_M = 1,1$

NAD: Tab. 6.1-1

$$f_{h,\alpha,d} = \frac{f_{h,0,k} k_{mod}}{(k_{90} \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha) \gamma_M} = \frac{28,2 \cdot 0,90}{(1,59 \sin^2 20 + \cos^2 20) 1,3} = 18,3 \text{ N/mm}^2$$

mit $f_{h,0,k} = 0,082 (1 - 0,01d) \rho_k = 0,082 (1 - 0,01 \cdot 16) 410 = 28,2 \text{ N/mm}^2$
 $k_{90} = 1,35 + 0,015 d = 1,35 + 0,015 \cdot 16 = 1,59$
 $\rho_k = 410 \text{ kg/m}^3$

$$R_d = \min. \begin{cases} f_{h,1,d} t_1 d \\ 1,1 f_{h,1,d} t_1 d \left[\sqrt{2 + \frac{4 M_{y,d}}{f_{h,1,d} d t_1^2}} - 1 \right] \\ 1,5 \sqrt{2 M_{y,d} f_{h,1,d} d} \end{cases}$$

$$R_d = \min. \begin{cases} 18,3 \cdot 74 \cdot 16 & = 21,7 \cdot 10^3 \text{ N} \\ 1,1 \cdot 18,3 \cdot 74 \cdot 16 \left[\sqrt{2 + \frac{4 \cdot 179 \cdot 10^3}{18,3 \cdot 16 \cdot 74^2}} - 1 \right] & = 13,4 \cdot 10^3 \text{ N} \\ 1,5 \sqrt{2 \cdot 179 \cdot 10^3 \cdot 18,3 \cdot 16} & = 15,3 \cdot 10^3 \text{ N} \end{cases}$$

Für zwei Scherflächen ergibt sich somit der Bemessungswert eines Stabdübels zu:

$$2 R_d = 2 \cdot 13,4 = 26,8 \text{ kN} \Rightarrow \text{erf. } n = 153/26,8 = 5,70$$

gew.: 6 Stabdübel $\varnothing 16$

Der Lochleibungsnachweis für die Stabdübel wird hier nicht geführt, da er nicht maßgebend ist (s. a. Lochleibungsnachweis für die Schraube).

Schraube M24 Festigkeitsklasse 8.8

Grenzabscherkraft

$$F_{v,Rd} = \frac{0,6 f_{ub} A_s}{\gamma_{Mb}} = \frac{0,6 \cdot 800 \cdot 491 \cdot 10^{-3}}{1,25} = 189 \text{ kN}$$

mit $A_s = 491 \text{ mm}^2$ $f_{ub} = 800 \text{ N/mm}^2$ $\gamma_{Mb} = 1,25$

$$\frac{N_{v,Sd}}{F_{v,Rd}} = \frac{153}{189} = 0,81 < 1,00$$

Grenzlochleibungskraft

$$F_{b,Rd} = \frac{2,5 \alpha f_u d t}{\gamma_{Mb}} = \frac{2,5 \cdot 1,0 \cdot 510 \cdot 24 \cdot 12 \cdot 10^{-3}}{1,25} = 294 \text{ kN}$$

mit $\alpha = \min. \begin{cases} e_1 / 3 d_o = 1,0 \\ f_{ub} / f_u = 1,57 \\ 1,0 \end{cases}$

$d_o = \text{Lochdurchmesser} = 25 \text{ mm}$

$e_1 = \text{Randabstand parallel zur Krafrichtung} = 3 d_o = 75 \text{ mm}$

$f_u = 510 \text{ N/mm}^2$ für Fe 510

$d = \text{Schaftdurchmesser} = 24 \text{ mm}$

$t = \text{Blehdicke} = 12 \text{ mm}$

$$F_{b,Rd} \leq \frac{1,5 f_u d t}{\gamma_{Mb}} = \frac{1,5 \cdot 510 \cdot 24 \cdot 12 \cdot 10^{-3}}{1,25} = 176 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{v,Sd}}{F_{b,Rd}} = \frac{153}{176} = 0,87 < 1,0$$

EC5: Gl. (6.5.1.2a-c) und EC 5: 6.6 (1)

ρ_k aus NAD: Tab. 3.3-1

EC 5: Gl. (6.2.2 e-g)
für eine zweischnittige Verbindung mit Mittelteil aus Stahl
 $t_1 = \text{Seitenholzdicke} = (160-12)/2 = 74 \text{ mm}$

EC 3: Tab. 6.5.3

EC 3: Tab. 3.3 und EC 3: 6.1.1(2)

EC 3: Tab. 6.5.3

EC 3: Bild 6.5.1

EC 3: Tab. 3.1, Fe 510 entspricht der alten Bezeichnung St 52-3

Für einschnittige Überlappungsstöße mit einer Schraube

EC 3: 6.5.11 (2)

Beachte für Festigkeitsklasse 8.8

EC 3: 6.5.11 (3)

Randabstände EC 3: 6.5.5 (9),(10)

Nachweis der Stahlflasche auf Zug

gew.: b/h = 12/80 Fe 510

$$N_{t,Rd} = \min. \begin{cases} N_{pl,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{12 \cdot 80 \cdot 355 \cdot 10^{-3}}{1,1} = 310 \text{ kN} \\ N_{u,Rd} = \frac{0,9 A_{net} f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 12 \cdot (80 - 25) \cdot 510 \cdot 10^{-3}}{1,25} = 242 \text{ kN} \end{cases}$$

$$\frac{N_{t,Sd}}{N_{t,Rd}} = \frac{153}{242} = 0,63 < 1,00$$

EC 3: 5.4.3(1)
 γ_{M0}, γ_{M2} aus EC 3: 5.1.1 (2)
 f_u, f_y aus EC 3: Tab. 3.1

Nachweis der Schweißnähte

$$F_{w,Rd} = f_{vw,d} a = \frac{f_u / \sqrt{3}}{\beta_w \gamma_{Mw}} a = \frac{510 / \sqrt{3}}{0,90 \cdot 1,25} 3 = 785 \text{ N/mm}$$

mit f_u = Zugfestigkeit des schwächeren Bauteils = 510 N/mm²
 $\beta_w = 0,90$
 $\gamma_{Mw} = 1,25$
 a = Schweißnahtdicke = 3 mm
 l = Schweißnahtlänge = 4 · 50 mm = 200 mm > 40 mm
 > 6a = 6 · 3 = 18 mm

EC 3: 6.6.5.3

EC 3: 6.1.1(2)
 EC 3: 6.6.5.2(2)
 EC 3: 6.6.5.1

$$\frac{F_{w,Sd}}{F_{w,Rd} l} = \frac{153 \cdot 10^3}{785 \cdot 200} = 0,97 < 1,00$$

Nachweis der Zugstange

gew.: Rundstahldiagonale M 30 mit Spannschloß Fe 510

Nachweis im Gewindebereich

$$F_{t,Rd} = \frac{0,9 f_{ub} A_s}{\gamma_{Mb}} 0,85 = \frac{0,9 \cdot 510 \cdot 561 \cdot 10^{-3}}{1,25} 0,85 = 175 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{t,Sd}}{F_{t,Rd}} = \frac{153}{175} = 0,87 < 1,00$$

EC 3: Tab. 6.5.3
 Für Zugstangen, die aus Rundstangen gefertigt und nicht von spezialisierten Schraubenherstellern geliefert werden, ist $F_{t,Rd}$ mit dem Faktor 0,85 zu reduzieren. EC 3: 6.5.5(6)

Nachweis im Schaftbereich

Nachweis wie bei der Stahlflasche, hier nicht maßgebend

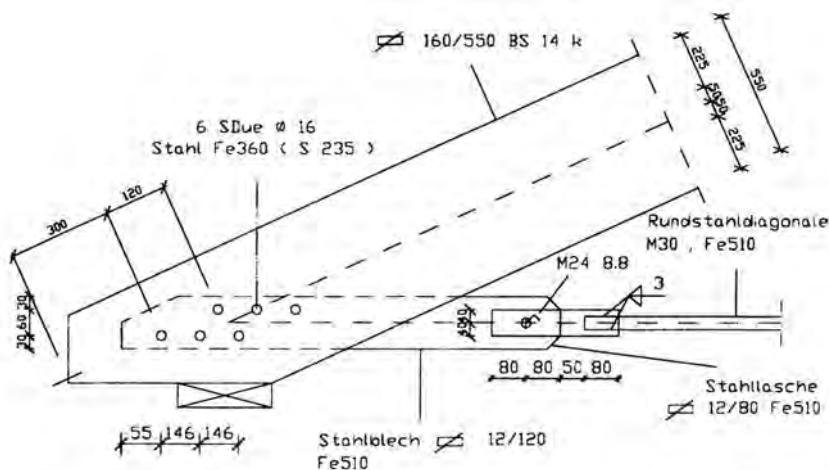


Bild 1.10 Geometrie des Anschlusses

Stabdübelabstände

Im Holz

$$a_1 = (3+4 |\cos \alpha|) d = (3+4 |\cos 0^\circ|) 16 = 112 \text{ mm}$$

$$a_2 = 3 d = 3 \cdot 16 = 48 \text{ mm}$$

$$a_{3,c} = \min. \begin{cases} 7 d |\sin \alpha| = 7 \cdot 16 |\sin 160^\circ| & = 39 \text{ mm} \\ 80 |\sin \alpha| = 80 |\sin 160^\circ| & = 28 \text{ mm} \\ 3 d = 3 \cdot 16 & = 48 \text{ mm} \end{cases}$$

$$a_{4,t} = \min. \begin{cases} (2 + 2 \sin \alpha) d = (2 + 2 \sin 160^\circ) 16 = 43 \text{ mm} \\ 3 d = 3 \cdot 16 & = 48 \text{ mm} \end{cases}$$

Im Stahl

gew.: $e_1 = 3,0 d_0 > 1,2 d_0 = 3,0 \cdot 17 = 51 \text{ mm}$

$p_1 = 3,8 d_0 > 2,2 d_0 = 3,8 \cdot 17 = 65 \text{ mm}$

$e_2 = 1,5 d_0 > 1,2 d_0 = 1,5 \cdot 17 = 26 \text{ mm}$

$p_2 = 3,0 d_0 > 2,4 d_0 = 3,0 \cdot 17 = 51 \text{ mm}$

1.3 Stützen

Bauteilbeschreibung

Es soll die eingespannte Stütze und die Pendelstütze eines Rahmens in Brett-schichtholz der Festigkeitsklasse BS 11 bemessen werden.

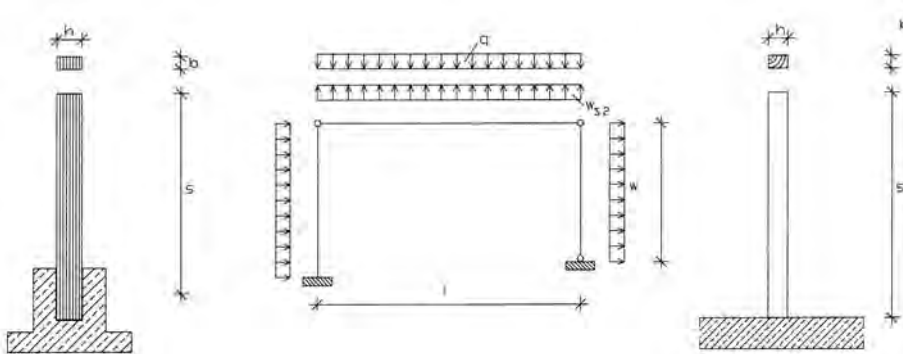


Bild 1.11 Stützengemetrien und statisches System

$s = 6,43 \text{ m} \quad s_p = 5,83 \text{ m} \quad l = 19,84 \text{ m}$

Eingespannte Stütze:

$h = 480 \text{ mm}$	$b = 260 \text{ mm}$	
$A = 1,25 \cdot 10^5 \text{ mm}^2$	$W_y = 9,98 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$	$I_y = 2,40 \cdot 10^9 \text{ mm}^4$

Einwirkungen

charakteristische Werte der Einwirkungen

ständige Einwirkungen alle Einwirkungen nach DIN 1055

Binder und Dach:	32,7 kN
Wandgewicht:	12,5 kN
Stütze:	<u>4,0 kN</u>
	49,2 kN

EC 5: Tab. 6.6 a u. Bild 6.3.1.2 a

Für volle Ausnutzung der Lochlei-bungsspannungen
EC 3: 6.5.5 (9), (10)

Mindestabstände EC 3: 6.5.1

Als charakteristische Werte der Ein-wirkungen gelten grundsätzlich die Werte der DIN-Normen, insbesonde-re die Werte der Normenreihe DIN 1055, und gegebenenfalls der bau-aufsichtlichen Ergänzungen und Richtlinien (NAD: 2.2.2.2 (1)).

veränderliche Einwirkungen

Schnee	44,6	kN	
Wind w_s (vertikal)	-17,9	kN	
Wind w_D	2,40	kN/m	
Wind aus der Pendelstütze	4,40	kN	$(c_p q a s/2)$
Wind auf den Satteldachträger oberhalb der Systemachse	1,20	kN	$(h_1/2 + d)c_p q a$

Kombinationsbeiwerte

Schnee: $\Psi_{0,1} = 0,70$
Wind: $\Psi_{0,2} = 0,60$

Bemessungswert der Einwirkungen

$$\sum \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i>1} \gamma_{Q,i} \Psi_{0,i} Q_{k,i}$$

Teilsicherheitsbeiwerte

$\gamma_G = 1,35$ für ständige Einwirkungen
 $\gamma_Q = 1,5$ für veränderliche Einwirkungen

Kombination 1 (Eigengewicht + Schnee + Wind):

$$N = 1,35 \cdot 49,2 + 1,5 \cdot 44,6 - 1,5 \cdot 0,60 \cdot 17,9 = 117 \text{ kN}$$

$$w = 1,5 \cdot 0,60 \cdot 2,40 = 2,16 \text{ kN/m}$$

$$H = 1,5 \cdot 0,60 (4,40 + 1,20) = 5,04 \text{ kN}$$

Kombination 2 (Eigengewicht + Wind + Schnee):

$$N = 1,35 \cdot 49,2 - 1,5 \cdot 17,9 + 1,5 \cdot 0,70 \cdot 44,6 = 86,4 \text{ kN}$$

$$w = 1,5 \cdot 2,40 = 3,60 \text{ kN/m}$$

$$H = 1,5 (4,40 + 1,20) = 8,40 \text{ kN}$$

Kombination 3 (Eigengewicht +Schnee):

$$N = 1,35 \cdot 49,2 + 1,5 \cdot 44,6 = 133 \text{ kN}$$

Bemessungswert der Beanspruchungen

Kombination 2 ist maßgebend

$$M = \frac{w s^2}{2} + H s = \frac{3,60 \cdot 6,43^2}{2} + 8,40 \cdot 6,43 = 128 \text{ kNm}$$

$$N = 86,4 \text{ kN}$$

Baustoffeigenschaften

Für die nachfolgende Bemessung wird die Festigkeitsklasse BS 11 gewählt.
Bemessungswerte der Tragfähigkeit s. S. 77.

Modifikationsfaktor

Es wird die Nutzungsklasse 1 angenommen.

Lasteinwirkungsdauer:	k_{mod} :	
ständig:	0,60 (Eigengewicht)	
kurz:	0,90 (Schnee)	⇒ maßgebend

Schneelastzone III, Höhe über NN $\leq 300 \text{ m}$.

a = Binderabstand
 h_1 = Binderhöhe am Auflager
 d = Höhe des Dachaufbaus
 $c_p q$ = Winddruck/ -sog

NAD: Tab. 2.2-1

EC 5: Gl. (2.3.2.2 a)

EC 5: Tab. 2.3.3.1

EC 5: 3.1.5

EC 5: Tab. 3.1.7
Maßgebend ist der k_{mod} -Wert der Einwirkung mit der kürzesten Lasteinwirkungsdauer (EC 5: 3.1.7 (2)).

Grenzzustände der Tragfähigkeit

gewählt: BS11 b/h = 260/480

Knick-Kippsicherheitsnachweis:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} f_{c,0,g,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit} f_{m,g,d}} \leq 1,00 \quad \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} f_{c,0,g,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit} f_{m,g,d}} \leq 1,00$$

$$\lambda_y = s_{ky} / i_y = 17,4 \cdot 10^3 / 139 = 125 \quad ; s_{ky} = 2,7 \cdot 6,43 \cdot 10^3 = 17,4 \cdot 10^3 \text{ mm} \quad i_y = 139 \text{ mm}$$

$$\lambda_z = s_{kz} / i_z = 6,43 \cdot 10^3 / 75 = 86 \quad ; s_{kz} = 6,43 \cdot 10^3 \text{ mm} \quad i_z = 75 \text{ mm}$$

$$\sigma_{c,crit,y} = \frac{\pi^2 E_{0,g,05}}{\lambda_y^2} = \frac{\pi^2 9200}{125^2} = 5,80 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{c,crit,z} = \frac{\pi^2 E_{0,g,05}}{\lambda_z^2} = \frac{\pi^2 9200}{86^2} = 12,3 \text{ N/mm}^2$$

$$\lambda_{rel,y} = \sqrt{\frac{f_{c,0,g,k}}{\sigma_{c,crit,y}}} = \sqrt{\frac{24,0}{5,80}} = 2,03 > 0,5$$

$$\lambda_{rel,z} = \sqrt{\frac{f_{c,0,g,k}}{\sigma_{c,crit,z}}} = \sqrt{\frac{24,0}{12,3}} = 1,40 > 0,5$$

$$k_y = 0,5 \left(1 + \beta_c (\lambda_{rel,y} - 0,5) + \lambda_{rel,y}^2 \right) = 0,5 \left(1 + 0,1(2,03 - 0,5) + 2,03^2 \right) = 2,65$$

$$k_z = 0,5 \left(1 + \beta_c (\lambda_{rel,z} - 0,5) + \lambda_{rel,z}^2 \right) = 0,5 \left(1 + 0,1(1,40 - 0,5) + 1,40^2 \right) = 1,53$$

$$k_{c,y} = 1 / \left(k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2} \right) = 1 / \left(2,65 + \sqrt{2,65^2 - 2,03^2} \right) = 0,23$$

$$k_{c,z} = 1 / \left(k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2} \right) = 1 / \left(1,53 + \sqrt{1,53^2 - 1,40^2} \right) = 0,47$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{f_{m,g,k} / \sigma_{m,crit}} = \sqrt{24,0 / 158} = 0,39 \quad \Rightarrow k_{crit} = 1,00$$

$$\begin{aligned} \text{mit} \quad \sigma_{m,crit} &= \frac{\pi b^2 E_{0,g,05}}{I_{el} h} \sqrt{\frac{G_{g,mean}}{E_{0,g,mean}}} = \\ &= \frac{\pi 260^2 \cdot 9200}{6430 \cdot 480} \sqrt{\frac{720}{11500}} = 158 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

maßgebend ist die Kombination 2

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_d}{A} = \frac{86,4 \cdot 10^3}{1,25 \cdot 10^5} = 0,69 \text{ N/mm}^2 \quad \sigma_{m,y,d} = \frac{M_d}{W_y} = \frac{128 \cdot 10^6}{9,98 \cdot 10^6} = 12,8 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{0,69}{0,23 \cdot 16,6} + \frac{12,8}{1,00 \cdot 16,6} = 0,95 < 1,00$$

$$\frac{0,69}{0,47 \cdot 16,6} + 0,70 \frac{12,8}{1,00 \cdot 16,6} = 0,63 < 1,00$$

Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit**Kombinationsbeiwerte**

entfallen

Bemessungswert der Einwirkungen

$$S_d = \sum G_{k,j} + Q_{k,1} + \sum_{i>1} \Psi_{1,i} Q_{k,i}$$

EC 5: Gl. (5.2.1 a-h) u. Gl. (5.2.2 a-f)
NAD: 5.2.1 (4)

Die folgenden charakteristischen Festigkeiten und Steifigkeiten sind dem NAD: Tab. 3.3-1 entnommen.

EC 5: 5.2.1 (3) für $\lambda_{rel,y,z} \leq 0,5$ müssen zusätzlich die Gleichungen für ausmittigen Druck eingehalten werden. $\beta_c = 0,1$ für Brettschichtholz

Da nur eine veränderliche Einwirkung angesetzt wird, entfallen die Kombinationsbeiwerte.

EC 5: Gl.(4.1 a)

ständige Einwirkungen: (Eigengewicht)

entfallen

veränderliche Einwirkungen: (Wind)

$$H = 4,40 + 1,20 = 5,60 \text{ kN} \quad w_D = 2,40 \text{ kN/m}$$

Ermittlung der Durchbiegungen

für Verkehrslasten $u_{inst} \leq l/300$ (l/150 für Kragträger)

$$u_{2,inst} = \frac{\frac{w_D s^4}{8} + \frac{H s^3}{3}}{E_{0,g,mean} I_y} = \frac{\frac{2,40 \cdot 6,43^4 \cdot 10^{12}}{8} + \frac{5,60 \cdot 10^3 \cdot 6,43^3 \cdot 10^9}{3}}{11500 \cdot 2,40 \cdot 10^9} = 37 \text{ mm} = \frac{s}{174} < \frac{l}{150}$$

Empfehlungen für Durchbiegungen:
EC 5: 4.3.1 (2), (3)

$E_{0,g,mean}$ aus NAD: Tab. 3.3-1

Pendelstütze

h =	260 mm	b =	160 mm
A =	$4,16 \cdot 10^4 \text{ mm}^2$	$W_y =$	$1,80 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$
		$I_y =$	$2,34 \cdot 10^8 \text{ mm}^4$

Einwirkungen

charakteristische Werte der Einwirkungen

ständige Einwirkungen

Binder und Dach:	29,8 kN
Wandgewicht:	12,5 kN
Stütze:	2,0 kN
	<hr/>
	44,3 kN

veränderliche Einwirkungen

Schnee	44,6 kN
Wind w_s (vertikal)	-17,9 kN
Wind w_D	2,40 kN/m

Kombination 1 (Eigengewicht + Schnee + Wind)

$$N = 1,35 \cdot 44,3 + 1,5 \cdot 44,6 - 1,5 \cdot 0,6 \cdot 17,9 = 111 \text{ kN}$$

$$w = 1,5 \cdot 0,6 \cdot 2,4 = 2,16 \text{ kN/m}$$

Kombination 2 (Eigengewicht + Wind + Schnee):

$$N = 1,35 \cdot 44,3 - 1,5 \cdot 17,9 + 1,5 \cdot 0,7 \cdot 44,6 = 79,8 \text{ kN}$$

$$w = 1,5 \cdot 2,4 = 3,60 \text{ kN/m}$$

Kombination 3 (Eigengewicht + Schnee):

$$N = 1,35 \cdot 44,3 + 1,5 \cdot 44,6 = 127 \text{ kN}$$

Bemessungswert der Beanspruchungen

<u>Kombination 1:</u>	N	=	111 kN
	$M = w s_p^2 / 8$	=	9,18 kNm
<u>Kombination 2:</u>	N	=	79,8 kN
	M	=	15,3 kNm
<u>Kombination 3:</u>	N	=	127 kN

Grenzzustände der Tragfähigkeit

gewählt: BS11 b/h = 260/480

Knick-Kippsicherheitsnachweis:

$$\lambda_y = s_{ky} / i_y = 5,83 \cdot 10^3 / 75 = 78 \quad \text{mit } s_{ky} = 5,83 \cdot 10^3 \text{ mm} \quad i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = 75 \text{ mm}$$

$$\lambda_z = s_{kz} / i_z = 5,83 \cdot 10^3 / 46 = 126 \quad \text{mit } s_{kz} = 5,83 \cdot 10^3 \text{ mm} \quad i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A}} = 46 \text{ mm}$$

$$\sigma_{c,crit,y} = \frac{\pi^2 E_{0,g,05}}{\lambda_y^2} = \frac{\pi^2 \cdot 9200}{78^2} = 14,9 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{c,crit,z} = \frac{\pi^2 E_{0,g,05}}{\lambda_z^2} = \frac{\pi^2 \cdot 9200}{126^2} = 5,72 \text{ N/mm}^2$$

$$\lambda_{rel,y} = \sqrt{\frac{f_{c,0,g,k}}{\sigma_{c,crit,y}}} = \sqrt{\frac{24,0}{14,9}} = 1,27 > 0,5$$

$$\lambda_{rel,z} = \sqrt{\frac{f_{c,0,g,k}}{\sigma_{c,crit,z}}} = \sqrt{\frac{24,0}{5,72}} = 2,05 > 0,5$$

$$k_y = 0,5 \left(1 + \beta_c (\lambda_{rel,y} - 0,5) + \lambda_{rel,y}^2 \right) = 0,5 \left(1 + 0,1(1,27 - 0,5) + 1,27^2 \right) = 1,34$$

$$k_z = 0,5 \left(1 + \beta_c (\lambda_{rel,z} - 0,5) + \lambda_{rel,z}^2 \right) = 0,5 \left(1 + 0,1(2,05 - 0,5) + 2,05^2 \right) = 2,68$$

$$k_{c,y} = 1 / \left(k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2} \right) = 1 / \left(1,34 + \sqrt{1,34^2 - 1,27^2} \right) = 0,57$$

$$k_{c,z} = 1 / \left(k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2} \right) = 1 / \left(2,68 + \sqrt{2,68^2 - 2,05^2} \right) = 0,22$$

Kombination 1

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_d}{A} = \frac{111 \cdot 10^3}{4,16 \cdot 10^4} = 2,67 \text{ N/mm}^2 \quad \sigma_{m,y,d} = \frac{M_d}{W_y} = \frac{9,18 \cdot 10^6}{1,80 \cdot 10^6} = 5,10 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{2,67}{0,57 \cdot 16,6} + \frac{5,10}{16,6} = 0,59 < 1,00$$

$$\frac{2,67}{0,22 \cdot 16,6} + 0,7 \cdot \frac{5,10}{16,6} = 0,95 < 1,00$$

Kombination 2

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_d}{A} = 1,91 \text{ N/mm}^2 \quad \sigma_{m,y,d} = 8,50 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{1,91}{0,49 \cdot 16,6} + \frac{8,50}{16,6} = 0,71 < 1,00$$

$$\frac{1,91}{0,22 \cdot 16,6} + 0,7 \cdot \frac{8,50}{16,6} = 0,88 < 1,00$$

Kombination 3

$$\sigma_{c,0,d} = 3,05 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{3,05}{0,22 \cdot 16,6} = 0,84 < 1,00$$

Ermittlung der Durchbiegungenveränderliche Einwirkungen: (Wind)

$$w_D = 2,40 \text{ kN/m}$$

$$u_{2,inst} = \frac{5 w_D s_p^4}{384 E_{0,g,mean} I_y} = \frac{5 \cdot 2,4 \cdot 5,83^4 \cdot 10^{12}}{384 \cdot 11000 \cdot 2,34 \cdot 10^8} = 14 \text{ mm} = \frac{s_p}{427} < \frac{l}{200}$$

EC 5: Gl. (5.2.1 a-h)

Die folgenden charakteristischen Festigkeiten und Steifigkeiten sind dem NAD: Tab. 3.3-1 entnommen.

EC 5: 5.2.1 (3) für $\lambda_{rel,y,z} \leq 0,5$ müssen zusätzlich die Gleichungen für ausmittigen Druck eingehalten werden. $\beta_c = 0,1$ für BrettschichtholzE_{0,g,mean} aus NAD: Tab. 3.3-1

1.4 Seitenlasten

Bauteilbeschreibung

In der folgenden Bemessung wird die Seitenlast für eine Halle mit sechs Feldern von je 6 m Länge bestimmt. Die Windkräfte verteilen sich gleichmäßig auf zwei Dachverbände im zweiten und vorletzten Feld. Die Geometrie des Trägers entspricht der des Satteldachträgers aus Abschnitt 1.2.2.

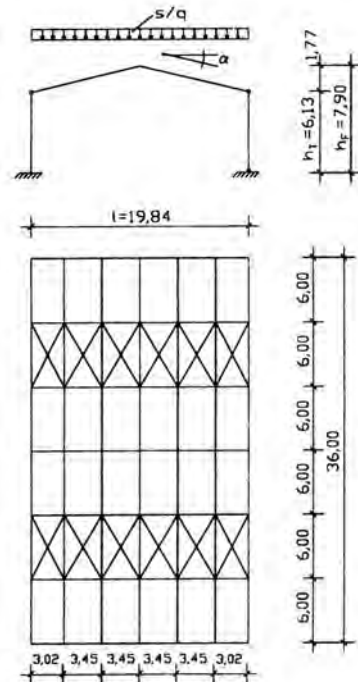


Bild 1.12 Geometrie der auszusteifenden Halle

Einwirkungen

charakteristische Werte der Einwirkungen

ständige Einwirkungen: (Eigengewicht)

$$\begin{aligned} \text{Dachaufbau (vgl. Abschn. 1.1 S. 49)} & 0,47 \cdot 6,00 = 2,82 \text{ kN/m Gfl.} \\ \text{Eigengewicht Binder} & = 0,78 \text{ kN/m Gfl.} \\ G_k & \approx 3,60 \text{ kN/m Gfl.} \end{aligned}$$

veränderliche Einwirkungen:

$$\text{Schnee} \quad Q_{k,1} = 0,75 \cdot 6,00 = 4,50 \text{ kN/m Gfl.}$$

$$\text{Wind} \quad Q_{k,2} = (0,8 + 0,5) 0,5 \frac{7,90 + 6,13}{4} = 2,28 \text{ kN/m Gfl.}$$

Kombinationsbeiwerte

$$\text{Schnee: } \psi_{0,1} = 0,70$$

$$\text{Wind: } \psi_{0,2} = 0,60$$

Bemessungswert der Einwirkungen

$$S_d = \sum \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i>1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

Teilsicherheitsbeiwerte

$$\gamma_G = 1,35 \text{ für ständige Einwirkungen}$$

$$\gamma_Q = 1,5 \text{ für veränderliche Einwirkungen}$$

Als charakteristische Werte der Einwirkungen gelten grundsätzlich die Werte der DIN-Normen, insbesondere die Werte der Normenreihe DIN 1055, und gegebenenfalls der bauaufsichtlichen Ergänzungen und Richtlinien (NAD: 2.2.2.2(1)).

Schneelastzone III, Höhe über NN ≤ 300 m.

NAD: Tab. 2.2-1

EC5: Gl. (2.3.2.2 a)

EC5: Tab. 2.3.3.1

Kombination 1 (Eigengewicht+Schnee+Wind):

$q = 1,35 \cdot 3,60 + 1,5 \cdot 4,50 = 11,6 \text{ kN/m}$ (Vertikallast pro Binder)
 $w = 0,60 \cdot 1,5 \cdot 2,28 = 2,05 \text{ kN/m}$ (Windlast auf die Giebel)

Kombination 2 (Eigengewicht + Wind + Schnee):

$q = 1,35 \cdot 3,60 + 1,5 \cdot 0,70 \cdot 4,50 = 9,59 \text{ kN/m}$ (Vertikallast pro Binder)
 $w = 1,5 \cdot 2,28 = 3,42 \text{ kN/m}$ (Windlast auf die Giebel)

Kombination 3 (Eigengewicht + Schnee):

$q = 1,35 \cdot 3,60 + 1,5 \cdot 4,50 = 11,6 \text{ kN/m}$ (Vertikallast pro Binder)

Bemessungswert der Beanspruchungen

Maximales Biegemoment im Binder

$\max N = ql^2/8$

Druckkraft im Druckgurt des Binders

$N_d = (1 - k_{crit}) \frac{\max M}{h_{(l/3)}}$ mit $h_{(l/3)} = 1033 \text{ mm}$, $b = 160 \text{ mm}$

$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{l_{ef} h_{(l/3)} f_{m,g,k}}{\pi b^2 E_{0,g,05}}} \sqrt{\frac{E_{0,g,mean}}{G_{g,mean}}} = \sqrt{\frac{19,84 \cdot 10^3 \cdot 1033 \cdot 28}{\pi \cdot 160^2 \cdot 10000}} \sqrt{\frac{12500}{780}} = 1,69$

$\Rightarrow k_{crit} = \frac{1}{\lambda_{rel,m}^2} = \frac{1}{1,69^2} = 0,35$

Seitenlast q_d

$q_d = k_1 \frac{n N_d}{30l}$ mit $k_1 = \min \left\{ 1, \sqrt{15/l} \right\} = \sqrt{15/19,84} = 0,87$

$n = \text{Anzahl der Binder} = 5 + 2 \cdot 1/2 = 6$

	max M	N_d	q_d	w	w+ q_d
	[kNm]	[kN]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]
Kombination 1	571	359	3,15	2,05	5,20
Kombination 2	472	297	2,60	3,42	6,02
Kombination 3	571	359	3,15	-	3,15

2 Fachwerkbinder

2.1 Bemessungsregeln

Allgemeines

Für die Schnittkraftermittlung müssen Fachwerkbinder i.d.R. durch Balkenelemente dargestellt werden, die entlang der Systemachsen verlaufen und in den Knotenpunkten miteinander verbunden sind.

Die Achsen der Randstäbe (z.B. Ober- und Untergurte) müssen mit den Systemachsen übereinstimmen. Bei Füllstäben müssen die Systemachsen in den Ansichtsflächen liegen. Ausmittige Anschlüsse oder Auflager können durch fiktive Balkenelemente dargestellt werden, deren Richtungen möglichst mit der Krafrichtung der angeschlossenen Stäbe übereinstimmen sollen. Für auf Druck beanspruchte Stäbe darf der Knicksicherheitsnachweis am Einzelstab geführt werden.

EC 5: Gl. (5.4.5.2 f)
s. Bindergeometrie 1.2.2

Die folgenden charakteristischen Steifigkeiten und Festigkeiten sind dem NAD: Tab. 3.3-1 entnommen. $\lambda_{rel,m}$ = Kippbeiwert des nicht ausgesteiften Binders.

EC 5: 5.4.5.3

Die Bemessungsregeln für Fachwerkbinder sind im EC 5: Abschnitt 5.4.1 enthalten. Zusätzliche Regeln für Ausführungen mit Nagelplatten finden sich im normativen Anhang D.

Allgemeine Bemessungsregeln nach EC5: 5.4.1.1 (1)-(4)

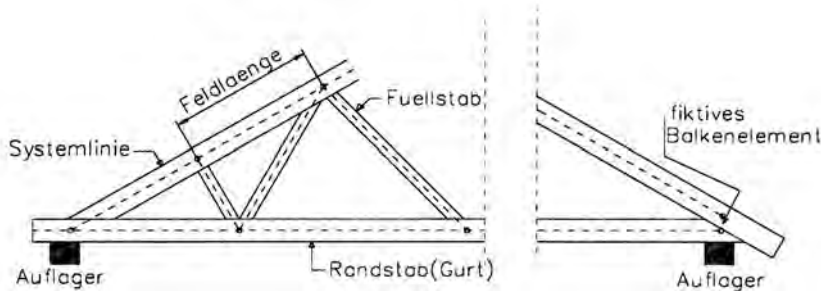


Bild 2.1 Beispiele für den Aufbau von Fachwerkbindern mit Elementen für die Berechnung

Ausführlicher Nachweis

Beim ausführlichen Nachweis sind Fachwerkbinder als Rahmentragwerke zu berechnen. Dabei müssen Verbindungsmittelsteifigkeiten (i.d.R. nur die Verschiebungssteifigkeiten, da allgemein von gelenkigen Knotenverbindungen ausgegangen werden darf), Auflagerausmittigkeiten und Steifigkeiten der Unterkonstruktion berücksichtigt werden, falls sie die Verteilung der Stabkräfte und -momente wesentlich beeinflussen.

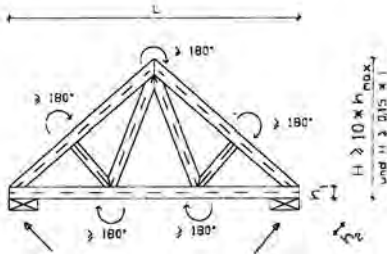
Die Steifigkeit der fiktiven Balkenelemente soll entsprechend der Steifigkeiten der angeschlossenen Stäbe angenommen werden. Die Berechnung des Rahmens soll mit den Bauteilsteifigkeiten nach EC 5 Abschnitt 3 (5% Fraktile der Elastizitätsmoduln) und den Verbindungsmittelsteifigkeiten nach EC 5 Abschnitt 4.2 oder Anhang D ($K_{U} = 2/3 K_{Ser}$) erfolgen. Wenn ein Nachweis nach der Spannungstheorie II. Ordnung geführt wird, sind die Steifigkeitswerte der Stäbe und die Anfangsverschiebungsmoduln im Grenzzustand der Tragfähigkeit K_{U} durch den Teilsicherheitsbeiwert γ_M zu dividieren und mit dem Modifikationsfaktor k_{mod} zu multiplizieren.

Vereinfachter Nachweis

Für Fachwerkbinder, die nur aus Dreiecken aufgebaut sind, kann ein vereinfachter Nachweis geführt werden, wenn die folgenden Bedingungen erfüllt sind:

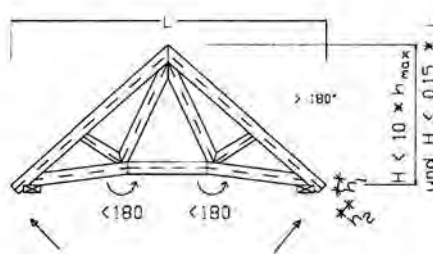
- der äußere Winkel zwischen zwei Randstäben beträgt stets mindestens 180°
- ein Teil der Auflagerfläche liegt unterhalb des Auflagerknotenpunktes
- die Höhe des Fachwerkbinders ist größer als 15% seiner Spannweite und größer als das 10-fache der größten Gurthöhe.

vereint. Nachweis möglich:



Auflagerfläche teilweise unterhalb des Auflagerknotenpunktes

vereinf. Nachweis nicht möglich:



Auflagerfläche außerhalb des Auflagerknotenpunktes

Bild 2.2 Bedingungen für die Anwendbarkeit des vereinfachten Nachweises

Darf ein vereinfachter Nachweis geführt werden, so können die Schnittgrößen nach der Fachwerkanalogie berechnet werden. Die Berechnung der Stabnormalkräfte erfolgt an einem Fachwerkmodell mit gelenkigen Anschlüssen, die Berechnung der Stäbe an einem Durchlaufträger mit unverschieblichen, gelenkigen Auflagern. Die Einflüsse der Durchbiegung bzw. der teilweisen Einspannung in den Knoten sollen durch eine 10%ige Abminderung bei entsprechender Erhöhung der Feldmomente berücksichtigt werden.

EC 5: 5.4.1.2 (1)-(7)

k_{mod} sollte, obwohl im EC 5 nicht ausdrücklich erwähnt, ebenfalls berücksichtigt werden. vgl. auch EC 5: Gl. (5.4.4 d) und NAD: 5.4.4

EC 5: 5.4.1.3 (1)-(3)

Bemessung der Stäbe

Als Knicklänge der Druckstäbe soll in Fachwerkebene im allgemeinen der Abstand zwischen zwei benachbarten Wendepunkten der Knickbiegeline angenommen werden. Bei Fachwerkbindern, die ausschließlich aus Dreiecken aufgebaut sind, sollte die Knicklänge bei Einfeldstäben ohne Endeinspannung und durchlaufenden Stäben ohne Querlasten als Länge der Systemlinie angenommen werden. Abschnitt 5.4.1.4(3) des EC 5 enthält Regelungen für wirksame Knicklängen beim vereinfachten Nachweis für Fachwerkbinder. Auch das Ausknicken senkrecht zur Fachwerkebene ist zu untersuchen.

2.2 Dachverband

(Vereinfachter Nachweis für Fachwerkbinder)

Bauteilbeschreibung

Für die Aussteifung einer Halle wird ein Dachverband mit 6 Feldern berechnet. Die Vertikalen werden in Vollholz S10/MS10, die Zugstäbe in Stahl Fe 510 ausgebildet. Die Gurte bestehen aus Brettschichtholz der Festigkeitsklasse BS 14k.

Der Verband darf mit dem vereinfachten Nachweis für Fachwerkbinder berechnet werden, da der äußere Winkel der Randstäbe jeweils 180° beträgt, ein Teil der Auflagerfläche unterhalb des Auflagerknotenpunktes liegt und die Höhe $h = 6,0$ m die Bedingungen $l/h = 6,00/19,84 = 0,30 > 0,15$ und $h/b = 6,00/0,22 = 27,3 > 10$ erfüllt.

Statisches System

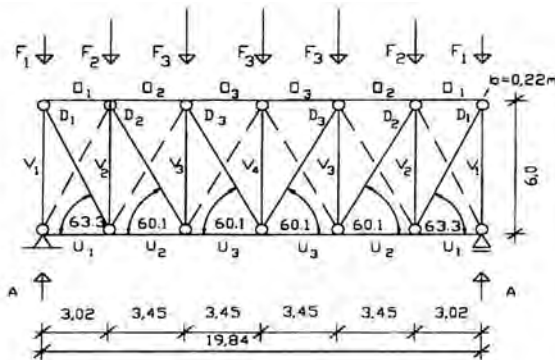


Bild 2.3 Geometrie und statisches System

Einwirkungen

Die Einzellasten F_1 , F_2 und F_3 ergeben sich aus der Multiplikation der Seitenlasten q_d und der Windlasten w mit den entsprechenden Lasteinflussbreiten. Die Ermittlung der Seitenlasten ist dem Abschnitt 1.4, Seitenlasten, zu entnehmen.

		Komb. 2	Komb. 3
q_d	[kN/m]	2,60	3,15
w	[kN/m]	3,42	-
$F_1 = 3,02(q_d + w) / 2$	[kN]	9,09	4,76
$F_2 = (3,02 + 3,45)(q_d + w) / 2$	[kN]	19,5	10,2
$F_3 = 3,45(q_d + w)$	[kN]	21,1	10,9

Bemessungswerte der Beanspruchung

Maßgebend ist die Kombination 2

Maximale Druckkraft in der Verbandsvertikalen V_i

$A = S_{v1} = 1,5 F_3 + F_2 + F_1 = 60,2 \text{ kN}$

EC 5: 5.4.1.4 (1)-(4)

Draufsicht des Systems s. Abschn. 1.4

Maximale Zugkraft in der Diagonalen D₁

$$S_{D1} = \frac{A - F_1}{\sin 63,3^\circ} = 57,3 \text{ kN}$$

Maximale Normalkraft im Binder

$$S_{O3} = -S_{U3} = \frac{(q_d + w)l^2}{8 \cdot h} = \frac{(2,60 + 3,42) \cdot 19,84^2}{8 \cdot 6} = 49,4 \text{ kN}$$

Baustoffeigenschaften

Für die nachfolgende Bemessung wurde für die Gurte BS 14k, für die Vertikalen S10/MS 10 gewählt. Bemessungswerte der Festigkeit und Steifigkeit s. S. 77.

Modifikationsfaktor

Es wird die Nutzungsklasse 1 angenommen.

Lasteinwirkungsdauer:	k_{mod} :	
ständig:	0,60	(Eigengewicht)
kurz:	0,90	(Schnee) ⇒ maßgebend

Grenzzustände der Tragfähigkeit

Vertikale V₁

gew.: S10/MS10 b/h = 160/160

Knicksicherheitsnachweis

$$\lambda_{rel,y} = \lambda_{rel,z} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit}}} = \sqrt{\frac{21}{4,29}} = 2,21$$

mit: $\sigma_{c,crit} = \frac{\pi^2 E_{0,05}}{\lambda_y^2} = \frac{\pi^2 \cdot 7400}{130^2} = 4,29 \text{ N/mm}^2$

$$\lambda_y = s_k / i_y = 6000 / 46 = 130$$

$$k_y = 0,5(1 + \beta_c (\lambda_{rel,y} - 0,5) + \lambda_{rel,y}^2) = 0,5(1 + 0,2(2,21 - 0,50) + 2,21^2) = 3,12$$

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = \frac{1}{3,12 + \sqrt{3,12^2 - 2,21^2}} = 0,19$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} f_{c,0,d}} = \frac{2,35}{0,19 \cdot 14,5} = 0,85 < 1,00$$

mit: $\sigma_{c,0,d} = S_{V1} / A = 60,2 \cdot 10^3 / 160^2 = 2,35 \text{ N/mm}^2$

Nachweis der Pressung zwischen Binder und Vertikale

$$\frac{\sigma_{c,90,d}}{k_{c,90} f_{c,90,d}} = \frac{2,35}{1,00 \cdot 3,81} = 0,62 < 1,00$$

mit: $k_{e,90} = 1,00$

Nachweis der Zugstange

gew.: Rundstahldiagonale M 20 mit Spannschloß Fe 510

Nachweis im Gewindebereich

$$F_{t,Rd} = \frac{0,9 f_{ub} A_s}{\gamma_{Mb}} 0,85 = \frac{0,9 \cdot 510 \cdot 245 \cdot 10^{-3}}{1,25} 0,85 = 76,5 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{t,Sd}}{F_{t,Rd}} = \frac{57,3}{76,5} = 0,75 < 1,00$$

Auf eine Neuberechnung des Satteldachbinders aus Abschnitt 2.2.2 für die Normalkraft und das infolge der Umlenkraft auftretende Versatzmoment wird hier verzichtet.

BS 14k bezeichnet ein kombiniertes Brettschichtholz (s. Fußnote NAD: Tab. 3.3-1)

EC 5: 3.1.5

EC 5: Tab. 3.1.7
Maßgebend ist der k_{mod} -Wert der Einwirkung mit der kürzesten Lasteinwirkungsdauer (EC 5: 3.1.7 (2)).

EC 5: Gl. (5.2.1 a-h)
Die folgenden charakteristischen Festigkeiten und Steifigkeiten sind dem NAD: Tab. 3.2-1 entnommen.

Knicklänge nach EC 5: 5.4.1.4

$\beta_c = 0,2$ für Vollholz

EC 5: Tab. 5.1.5

EC 3: Tab. 6.5.3
Für Zugstangen, die aus Rundstangen gefertigt und nicht von spezialisierten Schraubenherstellern geliefert werden, ist $F_{t,Rd}$ mit dem Faktor 0,85 zu reduzieren! EC 3: 6.5.5 (6)
 γ_{MB} aus EC 3: 6.1.1 (2)
 $f_{ub} = f_u$ aus EC 3: Tab. 3.1

Nachweis im Schaftbereich

$$N_{t,Rd} = \min. \begin{cases} N_{pl,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{MO}} = \frac{346 \cdot 355 \cdot 10^{-3}}{1,1} = 112 \text{ kN} \\ N_{u,Rd} = \frac{0,9 A_{net} f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 346 \cdot 510 \cdot 10^{-3}}{1,25} = 127 \text{ kN} \end{cases}$$

$$\frac{N_{t,Sd}}{N_{t,Rd}} = \frac{57,3}{112} = 0,51 < 1,00$$

Anschluß der Rundstahldiagonale

Die Rundstahldiagonale wird durch den Binder geführt und mit einem mit Rillen-nägeln befestigten Stahlteil angeschlossen.

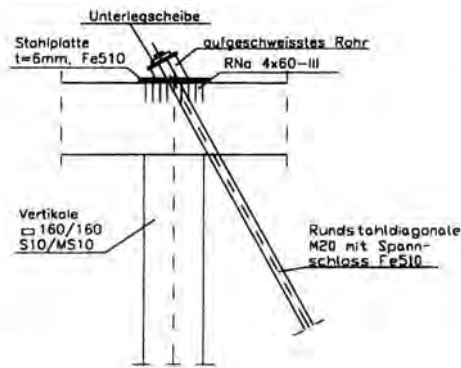


Bild 2.4 Anschlußdetail

Nachweis der Nägel auf Abscheren

Es handelt sich um ein dickes Stahlblech (t = 6 mm > d = 4 mm)

$$R_d = \min. \begin{cases} 1,1 f_{h,1,d} t_1 d \left[\sqrt{2 + \frac{4 M_{y,d}}{f_{h,1,d} d t_1^2}} - 1 \right] \\ 1,5 \sqrt{2 M_{y,d} f_{h,1,d} d} \end{cases}$$

$$R_d = \min. \begin{cases} 1,1 \cdot 15,4 \cdot 60 \cdot 4 \left[\sqrt{2 + \frac{4 \cdot 6015}{15,4 \cdot 4 \cdot 50^2}} - 1 \right] = 1,90 \cdot 10^3 \text{ N} \\ 1,5 \sqrt{2 \cdot 6015 \cdot 15,4 \cdot 4} = 1,29 \cdot 10^3 \text{ N} \end{cases}$$

$$f_{h,1,d} = \frac{k_{mod} f_{h,1,k}}{\gamma_M} = \frac{0,9 \cdot 22,2}{1,3} = 15,4 \text{ N/mm}^2$$

mit $f_{h,1,k} = 0,082 \rho_k d^{-0,3} = 0,082 \cdot 410 \cdot 4^{-0,3} = 22,2 \text{ N/mm}^2$
 $\rho_k = 410 \text{ kg/m}^3 \quad d = 4 \text{ mm} \quad t_1 = 60 \text{ mm}$

$$M_{y,d} = M_{y,k} / \gamma_M = 6617 / 1,1 = 6015 \text{ Nmm}$$

mit $M_{y,k} = 180 \cdot d^{2,6} = 180 \cdot 4^{2,6} = 6617 \text{ Nmm}$

Gurtdifferenzkraft

$$S_H = S_{D1} \cdot \cos \alpha = 57,3 \cdot \cos 63,3^\circ = 25,7 \text{ kN}$$

gew.: 20 RNä 4 x 60

$$\frac{S_H}{n \cdot R_d} = \frac{25,7}{20 \cdot 1,29} = 1,00 = 1,00$$

EC 3: 5.4.3(1)

γ_{MO}, γ_{M2} aus EC 3: 5.1.1 (2)

f_u, f_y aus EC 3 Tab. 3.1

für Rundstahldiagonalen aus Werkstoffen nach EC 3: Tab. 3.1 ist immer $N_{pl,Rd}$ maßgebend

Die Nettofläche der Stahlplatte soll mindestens dem Querschnitt der Vertikalen entsprechen \Rightarrow Nachweis kann entfallen

Nachweise im Stahlblech bzw. Rohr werden hier nicht geführt.

EC 5: 6.2.2(1)

EC 5: Gl. (6.2.2 c-d)

$\gamma_M = 1,3$ für Holz

EC 5: Gl. (6.3.1.2 a)
 ρ_k aus NAD: Tab. 3.3-1

$\gamma_M = 1,1$ für Stahl

EC 5: Gl.(6.3.1.2c)

Nachweis der Verbanddurchbiegung

Bemessungswerte der Elastizitätsmoduln

$$E_{0,9,05,d} = 6,92 \cdot 10^3 \text{ N/mm}^2 \quad \text{für BS 14}$$

$$E_{0,9,05,d} = 5,12 \cdot 10^3 \text{ N/mm}^2 \quad \text{für S10/MS10}$$

$$E_D = E/\gamma_M = 210 \cdot 10^3 / 1,1 = 191 \cdot 10^3 \text{ N/mm}^2$$

Anfangsverschiebungsmoduln für Nägel im Grenzzustand der Tragfähigkeit

$$K_U = 2/3 K_{ser} = 2/3 \cdot 1660 = 1107 \text{ N/mm}$$

$$K_{ser} = \rho_k^{1,5} d / 20 = 410^{1,5} \cdot 4 / 20 = 1660 \text{ N/mm}$$

Ermittlung der Ausbiegung des Verbandes

Es wird ein vereinfachter Durchbiegungsnachweis nach dem in [4] beschriebenen ef-I Verfahren durchgeführt.

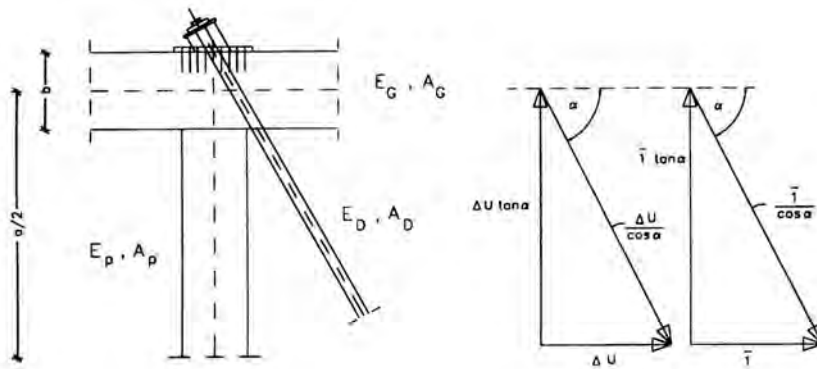


Bild 2.5 Ermittlung von $1/C'$

Die infolge der Gurtkraft am dargestellten Knoten geleistete Arbeit beträgt:

$$W = \frac{\Delta U \bar{l}}{C'} = \frac{\Delta U \bar{l}}{n K_U} + \frac{\Delta U \tan \alpha \bar{l} \tan \alpha a}{E_P A_P 2} + \frac{\Delta U \bar{l} a}{\cos \alpha \cos \alpha E_D A_D 2 \sin \alpha} + \delta \bar{l} \tan \alpha$$

$$\Leftrightarrow \frac{1}{C'} = \frac{1}{n K_U} + \frac{\tan^2 \alpha a}{E_P A_P 2} + \frac{a}{\cos^2 \alpha E_D A_D 2 \sin \alpha} + \frac{\delta \tan \alpha}{\Delta U}$$

Es wird eine Verschiebung von $\delta = 1 \text{ mm}$ bei Ausnutzung der Bemessungsfestigkeit $f_{c,90,g,d}$ des Binders angenommen:

$$\Delta U = A_P f_{c,90,g,d} / \tan \alpha = 160^2 \cdot 3,81 / \tan 63,3^\circ = 4,91 \cdot 10^4 \text{ N}$$

$$\frac{1}{C'} = \frac{1}{20 \cdot 1107} + \frac{\tan^2 63,3^\circ \cdot 6 \cdot 10^3}{5,12 \cdot 10^3 \cdot 2,56 \cdot 10^4 \cdot 2} + \frac{6 \cdot 10^3}{\cos^2 63,3^\circ \cdot 191 \cdot 10^3 \cdot 3,14 \cdot 10^2 \cdot 2 \cdot \sin 63,3^\circ} + \frac{\tan 63,3^\circ}{4,91 \cdot 10^4} = 4,54 \cdot 10^{-4} \text{ mm/m}$$

$$k = \frac{\pi^2 E_G A_G e'^2}{l^2 C'} = \frac{\pi^2 \cdot 6,92 \cdot 10^3 \cdot 1,65 \cdot 10^5 \cdot 3,3 \cdot 10^3 \cdot 4,54 \cdot 10^{-4}}{19,84^2 \cdot 10^6} = 42,9$$

mit: $A_G = 1,65 \cdot 10^5 \text{ mm}^2$ $l = 19,84 \cdot 10^3 \text{ mm}$ $e' = 3,30 \cdot 10^3 \text{ mm}$

$$\gamma = \frac{1}{1+k} = 0,023$$

$$efI = 2 \gamma A_G \left(\frac{a}{2} \right)^2 = 2 \cdot 0,023 \cdot 1,65 \cdot 10^5 \left(\frac{6000}{2} \right)^2 = 6,77 \cdot 10^{10} \text{ mm}^4$$

Dies ist ein Tragfähigkeitsnachweis!
Es muß daher mit Bemessungswerten der Elastizitätsmoduln gerechnet werden.

$$\gamma_M = 1,1 \text{ für Stahl}$$

EC 5: Gl. (5.3.3 a)
EC5: Tab. 4.2

Näherungsweise wird mit der Fläche im Drittelspannt der Trägerlänge gerechnet.

$$h_{(l/3)} = 1033 \text{ mm}$$

$$b = 160 \text{ mm}$$

$$f = \frac{5 (q_d + w) l^4}{384 E_{0,g,mean} e f I} \leq 1/500 \text{ für } (q_d + w)$$

$$\leq 1/700 \text{ für } (q_d)$$

EC5: 5.4.5.3(4)

EC5: 5.4.5.3(3)

Lastkombination 2 (Eigengewicht+Schnee+Wind)

$$f_2 = \frac{5 (2,60 + 3,42) 19,84^4 \cdot 10^{12}}{384 \cdot 6,92 \cdot 10^3 \cdot 6,77 \cdot 10^{10}} = 26 \text{ mm} < \frac{19,84}{500} 10^3 = 40 \text{ mm}$$

Lastkombination 3 (Eigengewicht+Schnee)

$$f_2 = \frac{5 \cdot 3,15 \cdot 19,84^4 \cdot 10^{12}}{384 \cdot 6,92 \cdot 10^3 \cdot 6,77 \cdot 10^{10}} = 14 \text{ mm} < \frac{19,84}{700} 10^3 = 28 \text{ mm}$$

3 Ermittlung der Bemessungswerte der Tragfähigkeit

Die charakteristischen Festigkeits- und Steifigkeitswerte sind den Tab. 3.2-1 und 3.3-1 (NAD) entnommen.

Der Bemessungswert X_d einer Baustoffeigenschaft ergibt sich im allgemeinen aus:

$$X_d = \frac{k_{mod} X_k}{\gamma_M}$$

EC5: 2.2.3.2(1)

Teilsicherheitsbeiwerte

$\gamma_M = 1,3$ für Grundkombinationen: Holz und Holzwerkstoffe
 $\gamma_M = 1,1$ für Grundkombinationen: Stahl

EC5: Tab. 2.3.3.2

Modifikationsfaktor

Der Modifikationsfaktor k_{mod} wird in Abhängigkeit der Nutzungsklasse und der Klasse der Lasteinwirkungsdauer nach EC 5: Tab. 3.1.7 gewählt. Maßgebend ist der k_{mod} -Wert der Einwirkung mit der kürzesten Lasteinwirkungsdauer.

EC5: 3.1.7(2)

Tab. 4.1: Bemessungswerte einiger Festigkeiten und Steifigkeiten in N/mm² für Voll- und Brettschichtholz

		Vollholz	Brettschichtholz		
		S10/MS10	BS 11	BS 14	
				kombiniert	homogen
Modifikationsfaktor	k_{mod}	0,9	0,9	0,9	0,9
Biegung	$f_{m,d}$	16,6	16,6	19,4	19,4
Zug	// Fa. $f_{t,0,d}$	9,69	11,8	12,1	14,2
	⊥ Fa. $f_{t,90,d}$	0,14	0,31	0,31	0,31
Druck	// Fa. $f_{c,0,d}$	14,5	16,6	19,0	20,1
	⊥ Fa. $f_{c,90,d}$	3,46	3,81	3,81	3,81
Schub u. Torsion	$f_{v,d}$	1,73	1,87	1,87	1,87
E-Modul	// Fa. $E_{0,g,05,d}$	5123	6369	6923	6923
	⊥ Fa. $E_{90,g,05,d}$	173	208	235	235
Schubmodul	$G_{g,05,d}$	318	402	429	425

Die Bezeichnungen für die Festigkeits- und Steifigkeitswerte von Brettschichtholz erhalten zusätzlich den Fußzeiger „g“ (z.B. $f_{m,g,d}$)

4 Literatur- und Normenverzeichnis

Zitierte Normen und Vorschriften

DINV ENV 1995 Teil 1-1 (Eurocode 5): Entwurf, Berechnung und Bemessung von Holztragwerken, Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln, Bemessungsregeln für den Hochbau (06/94). Beuth Verlag

Nationales Anwendungsdokument (NAD), Richtlinie zur Anwendung von DINV ENV 1995-1-1 (10/94). Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin und Deutsche Gesellschaft für Holzforschung e.V., München

ENV 1993 Teil 1-1 (Eurocode 3): Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten, Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln, Bemessungsregeln für den Hochbau (04/92+Korrigendum). CEN Europäisches Komitee für Normung, Brüssel

Nationales Anwendungsdokument (NAD), Richtlinie zur Anwendung von DINV ENV 1993-1-1 (10/94), DAST-Richtlinie 103. Deutscher Ausschuß für Stahlbau DAST Fachbereich 08 „Stahlbau, Verbundbau, Aluminiumbau“ des NABau im Deutschen Institut für Normung e.V., Berlin

DIN 1055 Teil 1: Lastannahmen für Bauten; Lagerstoffe, Baustoffe und Bauteile, Eigenlasten und Reibungswinkel (07/78)

DIN 1055 Teil 3: Lastannahmen für Bauten; Verkehrslasten (06/71)

DIN 1055 Teil 4: Lastannahmen für Bauten; Verkehrslasten, Windlasten bei nicht schwingungsanfälligen Bauwerken (08/86)

DIN 1055 Teil 4 A 1: Lastannahmen für Bauten; Verkehrslasten, Windlasten bei nicht schwingungsanfälligen Bauwerken, Änderung 1; Berichtigungen (06/87)

DIN 1055 Teil 5: Lastannahmen für Bauten; Verkehrslasten, Schneelast und Eislast (06/75)

Zitierte Literatur

[1] Shankare, G.; Ranta-Maunus, A. 1993: Curved and cambered glulam beams, Part 1: Short term load tests. VTT Research Notes 1500, VTT Technical Research Centre of Finland, ESPOO, Middelände, Finland.

[2] Shankare, G.; Ranta-Maunus, A. 1994: Curved and cambered glulam beams, Part 2: Long term load tests under cyclically varying humidity. VTT Publications 171, VTT Technical Research Centre of Finland, ESPOO, Middelände, Finland.

[3] Brüninghoff, H. u. a. 1993: Praxisnahe Empfehlungen zur Reduzierung von Querschnittsrissen bei geleiteten Satteldachbindern aus Brettschichtholz. Bauen mit Holz (11); S. 928–937

[4] Brüninghoff, H. u. a. 1992: Verbände und Abstützungen, Grundlagen und Regelnachweise. Informationsdienst Holz, Entwicklungsgemeinschaft Holzbau in der Deutschen Gesellschaft für Holzforschung e.V., München

Anhang 1: EDV-Hilfen für die Bemessung nach EC 5

Ziel der anstehenden etwa dreijährigen Erprobungsphase des Eurocode 5 (EC5) ist es, das neue Regelwerk zu testen und Erfahrungen zu sammeln, die bei der geplanten Überarbeitung des EC5 einfließen sollen. Hier gilt es, ein Gefühl für die Leistungsfähigkeit und Wirtschaftlichkeit des neuen Regelwerkes zu gewinnen. Dies ist aber nur möglich, wenn die Anwendung des EC5 anhand konkreter Beispiele intensiv durch Ausprobieren und Durchrechnen verschiedener Varianten (z.B. Wahl verschiedener Querschnitte oder Sortierklassen) geübt wird.

Diesem Ziel steht jedoch entgegen, daß die Durchführung von Vergleichsrechnungen „per Hand“ erfolgen muß, solange keine Softwareprogramme oder selbst programmierte Lösungen für die Bemessung nach EC 5 vorliegen. Der damit verbundene Rechenaufwand stellt eine nicht zu unterschätzende Hemmschwelle für die Erprobung dar.

Um diese Hemmschwelle abzubauen, und um gleichzeitig den Anwender zum „Ausprobieren“ anzuregen, hat die Entwicklungsgemeinschaft Holzbau (EGH) eine Reihe häufig benötigter Nachweise und Berechnungen des EC5 auf ein Tabellenkalkulationsprogramm (EXCEL 5.0) implementiert (siehe Tabelle).

Die Handhabung der erarbeiteten Formblätter ist dabei recht einfach:

- die benötigten Eingabewerte (z.B. Querschnittsabmessungen, Sortierklasse oder Schnittgrößen) werden in farblich gekennzeichnete Eingabefelder eingegeben, wobei die Kenngrößen anhand von Zeichnungen erläutert sind;
- Nach jeder (geänderten) Eingabe werden die Berechnungen automatisch durchgeführt, so daß die Auswirkungen bzw. die Ergebnisse sofort zu erkennen sind;

- Warnhinweise und Fehlermeldungen zeigen an, ob falsche Werte eingegeben oder ein Nachweis nicht eingehalten wurde.

Jeder Nachweis ist auf einer DIN A4 Seite zusammengefaßt und kann so als Teil einer statischen Berechnung verwendet werden. Dabei werden auch sämtliche für die Handrechnung benötigten Zwischenwerte (z.B. k_{mod} -Werte, Knickzahlen o.a.) angegeben, so daß die Rechenergebnisse nachvollziehbar sind.

Die erarbeiteten EDV-Hilfen erheben keinen Anspruch auf Vollständigkeit oder auf „Intelligenz“: Sie haben einzig und allein das Ziel, den Rechenaufwand und damit die bestehende Hemmschwelle zur Erprobung des EC5 zu reduzieren.

Die Arbeitshilfen wurden anhand einer ganzen Reihe von Beispielen getestet, wie bei allen Softwareprodukten kann jedoch keinerlei Gewähr oder Haftung übernommen werden.

Die Arbeitshilfen können bezogen werden bei:

Arbeitsgemeinschaft Holz e.V.
 Postfach 300141
 40401 Düsseldorf
 Tel.: 0211/478180
 Fax: 0211/452314

Einige der erarbeiteten Formblätter sind nachfolgend vorgestellt, wobei im Hinblick auf einen besseren Vergleich mit der Handrechnung Beispiele aus dieser Informationsschrift verwendet wurden. Die Eingabefelder sind dabei grau hinterlegt.

Tabelle: Vorhandene Arbeitshilfen auf EXCEL 5.0

Bemessungswert einer Schnittgröße	Berechnung des Bemessungswertes einer Schnittgröße unter Berücksichtigung der verschiedenen Lastfallkombinationen und der zugehörigen Beiwerte γ_F und γ_M .
Nachweise der Gebrauchstauglichkeit	<ul style="list-style-type: none"> • Durchbiegnachweis Berechnung der verschiedenen Durchbiegungsanteile in Abhängigkeit von den verschiedenen Lastfallkombinationen. • Schwingungsnachweis Berechnung der Eigenfrequenz, der Durchbiegung unter $F = 1\text{kN}$ und der Geschwindigkeitsreaktion bei einfachen Holzbalkendecken.
Nachweise der Tragfähigkeit	<ul style="list-style-type: none"> • Grundbeanspruchungen Zug und Druck parallel zur Faser, Druck unter einem Winkel zur Faser, Biegung (einschl. Doppelbiegung), Querkraft, Ausklinkungen, ausmittiger Zug und Druck (Längskraft und Biegung). • Stabilität Knicken, Kippen, kombiniertes Knicken und Kippen. • Satteldachträger und gekrümmte Träger Biegespannungen am angeschnittenen Rand, Pultdachträger, gekrümmte Träger mit lose aufgesatteltm und aufgeleimtem First (Längs- und Querzugspannungen im First, max. Biegespannung im Feld). • Verbindungsmitel 1- und 2-schnittige Holz/Holz-, Holzwerkstoff/Holz- und Stahlblech/Holz-Verbindungen mit Nägeln, Bolzen/Stabdübeln, sowie Schrauben (Beanspruchung jeweils auf Abscheren und Herausziehen).

Grenz Zustand der Gebrauchtauglichkeit
Schwingungsnachweis für 1- und 2-Feldträger nach EC 5 Abschnitt 4.4

Beispiel aus Abschnitt 3.3 (Seite 14)

Eingabedaten:

Balken	1
Beplankung	1
Vollholz	
S10/MS10	1
S 13	2
MS 13	3
MS 17	4
Brettschichtholz	
BS 11	5
BS 14k	6
BS 14h	7
BS 16k	8
BS 16h	9
BS 18k	10
BS 18h	11
Holzwerkstoff	
BFU	12
FP	13

Decke:
 b = 6,00 m
 l₁ = 3,50 m
 l₂ = 4,50 m
 Masse m = 150 kg/m²
 l_{ges} = 8,00 m
 l_{1/2} = 0,78 m
 n_{Balken} = 10

Querschnittswerte:
 B = 100 mm
 H = 200 mm
 d = 24 mm
 a = 0,625 m

Gegeben: Zweifeldträger
 (EI)₁ = 1,17E+06 Nm²/m
 (ohne Beplankung)
 (EI)_b = 1,27E+04 Nm²/m
 k_f = 1,920 = Beiwert zur Berücksichtigung der Lagerungsart

Nachweise:

Frequenz: $f_1 = k_1^2 \frac{\pi}{2 l_{ges}} \sqrt{\frac{(EI)_b}{m}}$ = 8,01 > 6 Hz

Durchbiegung in Feld 2: Einzellast F=1kN und Durchbiegung näherungsweise in Feldmitte

$u = 1,11 < 1,5$ mm

Schwingung:

$n_{d,ges} = k_f \left[\left(\frac{40}{l_1} \right)^2 - 1 \right] \left[\frac{b}{l_{ges}} \frac{(EI)_1}{(EI)_b} \right]^{0,25} = 9,89$ gerechnet wird mit n_{d0} = 10

$v = 4 \cdot (0,4 + 0,6 n_{d,ges}) = 0,00346 < 0,01446 = 100^{-(\zeta_1 l_1^{-1})}$ mit $\zeta_1 = 0,01$

Bemessungswerte einer Schnittgröße nach der Grundkombination (vgl. EC5: Abschnitt 2.3.2.2) für den Nachweis der Tragfähigkeit

POS 6 Hier:	Traufpfette (siehe Seite 46)		KLED	
	Moment M _{By}		1=ständig	2=lang
Basis-Schnittgrößen auf der Grundlage von DIN 1055		M _{By} kNm	3=mittel	4=kurz
ständige Einwirkung			ψ ₀	γ _G , γ _Q
aus Eigengewicht M _{g,k} (G _k)		3,78	1,0	1,35
Veränderliche Einwirkungen				
aus Schnee M _{s,k} (Q _{1,k})		1,26	0,7	1,5
aus Wind M _{w,k} (Q _{2,k})		0,82	0,6	1,5
aus Verkehrslast M _{p,k} (Q _{3,k})		2,34	0,7	1,5
Summe S _k =		8,20		

Ergebnis:

maßgebende Lastfall-Kombination für den Nachweis von Bauteilen:	LFK '3c'	NKL = 2
S _d =	10,67 kNm	u ≤ 12%
NKL =	2	u ≤ 20%
KLED =	4	20% < u
S _d /S _k =	1,30	

Einzelsergebnisse:

Lastfall-Kombination	Grundgleichungen zur Kombination der ständigen und veränderlichen Einwirkungen	S _d	maßgebende KLED	k _{mod}	S _d /k _{mod}
LFK '0'	γ _G ·G _k	5,10	ständig	0,6	8,51
LFK '1a'	γ _G ·G _k + γ _Q ·Q _{1,k}	6,99	lang	0,7	9,99
LFK '1b'	γ _G ·G _k + γ _Q ·Q _{2,k}	6,33	mittel	0,8	7,92
LFK '1c'	γ _G ·G _k + γ _Q ·Q _{3,k}	8,61	kurz	0,9	9,57
LFK '2a'	γ _G ·G _k + γ _Q ·Q _{1,k} + ψ ₀ ·γ _Q ·Q _{2,k}	7,73	mittel	0,8	9,66
LFK '2b'	γ _G ·G _k + ψ ₀ ·γ _Q ·Q _{1,k} + γ _Q ·Q _{2,k}	7,66	mittel	0,8	9,57
LFK '2c'	γ _G ·G _k + γ _Q ·Q _{1,k} + ψ ₀ ·γ _Q ·Q _{3,k}	9,45	kurz	0,9	10,50
LFK '2d'	γ _G ·G _k + ψ ₀ ·γ _Q ·Q _{1,k} + γ _Q ·Q _{3,k}	9,94	kurz	0,9	11,04
LFK '2e'	γ _G ·G _k + γ _Q ·Q _{2,k} + ψ ₀ ·γ _Q ·Q _{3,k}	8,79	kurz	0,9	9,77
LFK '2f'	γ _G ·G _k + ψ ₀ ·γ _Q ·Q _{2,k} + γ _Q ·Q _{3,k}	9,35	kurz	0,9	10,39
LFK '3a'	γ _G ·G _k + γ _Q ·Q _{1,k} + ψ ₀ ·γ _Q ·Q _{2,k} + ψ ₀ ·γ _Q ·Q _{3,k}	10,19	kurz	0,9	11,32
LFK '3b'	γ _G ·G _k + ψ ₀ ·γ _Q ·Q _{1,k} + γ _Q ·Q _{2,k} + ψ ₀ ·γ _Q ·Q _{3,k}	10,11	kurz	0,9	11,24
LFK '3c'	γ _G ·G _k + ψ ₀ ·γ _Q ·Q _{1,k} + ψ ₀ ·γ _Q ·Q _{2,k} + γ _Q ·Q _{3,k}	10,67	kurz	0,9	11,86
				max =	11,86

Hinweis: LFK '1a' aus Beispiel entspricht LFK '3c' in obiger Tabelle
 LFK '1b' aus Beispiel entspricht LFK '3b' in obiger Tabelle
 LFK '2' aus Beispiel entspricht LFK '1c' in obiger Tabelle

Erläuterung der Begriffe:

NKL =	Nutzungsklasse (vgl. EC5: Abschnitt 3.1.5)	
KLED =	Klasse der Lasteinwirkungsauer (vgl. NAD: Tabelle 3.1-1)	
γ _G , γ _Q =	Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen (vgl. EC5: Tabelle 2.3.3.1)	γ ₀ = 1,35
ψ ₀ =	Kombinationsbeiwerte für Grenz Zustand der Tragfähigkeit (vgl. NAD: Tabelle 2.2-1)	
k _{mod} =	Modifikationsfaktor (vgl. EC5: Tabelle 3.1.7)	

Grenz Zustand der Tragfähigkeit

Nachweis von gekrümmten Trägern (mit aufgleitem First) nach EC 5 Abschnitt 5.2.4
Spannungsnachweise im Firstquerschnitt und an der Stelle von max. σ

Beispiel aus Abschnitt 4.2.2 (Seite 22)

Eingabedaten:

Baustoff	6	Querschnitts- und Systemwerte:
Brettschichtholz		
BS 11	5	b = 180 mm
BS 14k	6	h _A = 700 mm
BS 14h	7	α = 12°
BS 16k	8	β = 5°
BS 16h	9	δ = α - β = 7°
BS 18k	10	l = 20,00 m
BS 18h	11	f _m = 35,00 m
		t = 33,00 mm

Bemessungswert der Schnittgröße:
 M_{ap,d} = 720,00 kNm
 M_{x,d} = 424,03 kNm

Nachweise:

(1) Biegespannung $\sigma_{m,d} \leq k_t \cdot k_{mod} \cdot \frac{f_{m,k}}{f_{m,d}} = k_t \cdot k_{mod} \cdot \frac{f_{m,k}}{f_{m,d}}$
 (2) Querkzug $\sigma_{t,90,d} = k_p \cdot W_{ap} \leq k_{0,9} \cdot k_{0,2} \cdot \left(\frac{0,07 \cdot 0,2}{V} \right) \cdot f_{t,90,d}$
 (3) $\sigma_{m,d} = (1 - 4 \tan^2 \delta) \cdot \frac{M_{x,d}}{W_x} \leq k_{m,6} \cdot k_{mod} \cdot \frac{f_{m,k}}{f_{m,d}} = k_{m,6} \cdot k_{mod} \cdot \frac{f_{m,k}}{f_{m,d}}$ an der Stelle x
 (4) $\sigma_{m,d} = (1 + 4 \tan^2 \delta) \cdot \frac{M_{x,d}}{W_x} \leq k_{m,6} \cdot k_{mod} \cdot \frac{f_{m,k}}{f_{m,d}} = k_{m,6} \cdot k_{mod} \cdot \frac{f_{m,k}}{f_{m,d}}$ an der Stelle x

- (1) $\sigma_{m,d} = 8,12 < 19,38$
- (2) $\sigma_{t,90,d} = 0,26 > 0,18$ Nachweis nicht eingehalten
- (3) $\sigma_{m,\delta,d} = 10,15 < 18,27$
- (4) $\sigma_{m,0,d} = 11,45 < 19,38$

Rechenwerte:

k _{mod}	= 0,9	γ _M	= 1,3	α	= 12°
Materialkennwerte		Geometriewerte			
f _{m,k}	= 28,0 N/mm ²	h _r	= 1552 mm	per Definition	
f _{m,d}	= 19,38 N/mm ²	W _{ap}	= 1,30E+08 mm ³	Weitere Werte	
f _{t,90,k}	= 0,45 N/mm ²	h _{ap}	= 2084 mm	1-4tan ² δ =	0,94
f _{t,90,d}	= 0,31 N/mm ²	x	= 3,59 m	1+4tan ² δ =	1,06
f _{c,90,k}	= 5,5 N/mm ²	h _x	= 1144 mm	f _{m,l}	= 1060,61
f _{c,90,k}	= 3,81 N/mm ²	W _x	= 3,93E+07 mm ³	k _r	= 1,00
		tanα	= 0,21256	k _l	= 1,47
Spannungen		r	= 36,04	k _p	= 0,046
M _{ap,d} /W _{ap}	= 5,52 N/mm ²	h _{ap} /r	= 0,058	k _{0,9}	= 1,70
M _{x,d} /W _x	= 10,80 N/mm ²			V	= 2,03 m ³
				k _{m,δ}	= 0,94

Grenz Zustand der Tragfähigkeit

Nachweis der Druck- und Biegespannung (Knicken und Kippen)
nach EC 5 Abschnitt 5.2.2 und NAD

Beispiel aus Abschnitt 4.3.3 (Seite 24)

Eingabedaten:

Baustoff	10	Querschnittswerte:
Vollholz		
S10/MS10	1	B = 120 mm
S 13	2	H = 600 mm
MS 13	3	A = 72000 mm ²
MS 17	4	W _y = 7,20E+06 mm ³
		W _z = 1,44E+06 mm ³

Systemwerte:

S _{k,y}	= 12,00 m	Biegung um y-Achse (Knicken in z-Ri)
l _{ef,y}	= 4,00 m	Biegung um y-Achse (Kippen in y-Ri)
S _{k,z}	= 4,00 m	
l _{ef,z}	= 12,00 m	

Bemessungswerte der Schnittgrößen:

F _{c,0,d}	= 110,00 kN
M _{y,d}	= 95,00 kNm
M _{z,d}	= 12,00 kNm

Nachweise:

(1) $\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit,y} \cdot f_{m,y,d}} + k_{m,y,d} \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{k_{crit,z} \cdot f_{m,z,d}} \leq 1$
 (2) $\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} + k_{m,z,d} \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit,y} \cdot f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{k_{crit,z} \cdot f_{m,z,d}} \leq 1$

- 0,11 + 0,56 + 0,23 = 0,90 < 1
- 0,27 + 0,39 + 0,33 = 1,00 < 1

Rechenwerte:

k _{mod}	= 0,90	Biegung um die y-Achse
γ _M	= 1,3	Knicken in z-Richtung
k _m	= 0,7	λ _y = 69,3
Materialkennwerte:		σ _{c,crit,z} = 23,9 N/mm ²
E _{0,05}	= 11600 N/mm ²	λ _{rel,y} = 1,13
Druck		k _y = 1,171
σ _{c,0,d}	= 1,5 N/mm ²	k _{c,y} = 0,678
f _{c,0,k}	= 30,5 N/mm ²	1/k _{c,y} = 1,47
f _{c,0,d}	= 21,1 N/mm ²	Kippen in y-Richtung
β _c	= 0,1	σ _{m,y,d} = 13,2 N/mm ²
Biegung		σ _{m,crit,y} = 54,5 N/mm ²
f _{m,k}	= 36,0 N/mm ²	λ _{rel,m,z} = 0,81
f _{m,d}	= 24,9 N/mm ²	k _{crit,y} = 0,95
		Biegung um die z-Achse
		Knicken in y-Richtung
		λ _z = 115,5
		σ _{c,crit,z} = 8,6 N/mm ²
		λ _{rel,z} = 1,88
		k _z = 2,345
		k _{c,z} = 0,267
		1/k _{c,z} = 3,74
		Kippen in y-Richtung
		σ _{m,z,d} = 8,3 N/mm ²
		σ _{m,crit,z} = 2269,8 N/mm ²
		λ _{rel,m,z} = 0,13
		k _{crit,z} = 1,00

Grenzstand der Tragfähigkeit

Nachweis von Holz-Holz-Nagelverbindungen nach EC 5 Abschnitt 6.2 und 6.3

Beispiel aus Abschnitt 5.3.2 (Seite 32/33)

Eingabedaten:

Stahl	-
Vollholz	1
S10/MS10	2
S 13	3
MS 13	4
MS 17	0

Angaben zu den Nägeln:
 $\varnothing = 2,8$ mm
 $l = 65$ mm

Brettschichtholz	Typ	0
BS 11	glattsch.	0
BS 14k	Sonder-Nagel	1
BS 14h	Kl. I =	1
BS 16k	Kl. II =	2
BS 16h	Kl. III =	3
BS 18k	Schnitt	1
BS 18h	1-schn. =	1
	2-schn. =	2
Holzwerkstoff	vorgebohrt	0
BFU-NH	nein =	0
BFU-Bu	ja =	1
FP		
HFH		

Angaben zu Holz 1
 Baustoff = 1
 $d_1 = 40$ mm
 $\rho_k = 380$ kg/m³

Angaben zu Holz 2
 Baustoff = 1
 $d_2 = 40$ mm
 $\rho_k = 380$ kg/m³

NKL =	2
$u \leq 12\%$	1
$u \leq 20\%$	2
$20\% < u$	3
KLED =	1
ständig =	1
lang =	2
mittel =	3
kurz =	4

Beanspruchung auf Abscheren: Einschnittige Verbindung

$R_d = 0,367$ kN maßgebend: $\alpha_{1,6.2.1e}$ nach EC5

GI(6.2.1 a)	$R_d = 1,183$ kN
GI(6.2.1 b)	$R_d = 0,739$ kN
GI(6.2.1 c)	$R_d = 0,416$ kN
GI(6.2.1 d)	$R_d = 0,497$ kN
GI(6.2.1 e)	$R_d = 0,367$ kN
GI(6.2.1 f)	$R_d = 0,413$ kN

Rechenwerte:

$k_{mod} = 0,60$ $\gamma_{M, Holz} = 1,3$ $\gamma_{12} = 1,1$

Holz 1	$t_1 = 40$ mm	Holz 2	$t_2 = 25$ mm
$f_{h,1,k} = 22,88$ N/mm ²	$f_{h,2,k} = 22,88$ N/mm ²	$M_{y,k} = 2617$ Nmm	$M_{y,d} = 2380$ Nmm
$f_{h,1,d} = 10,56$ N/mm ²	$f_{h,2,d} = 10,56$ N/mm ²		
$\beta = 1,00$			

Grenzstand der Tragfähigkeit

Nachweis von Stahlblech-Holz-Bolzen-(Stabdübel-)verbindungen nach EC 5 Abschnitt 6.5 und 6.6

Beispiel aus Abschnitt 5.6.2 (Seite 38/39)

Eingabedaten:

Stahl	0
Vollholz	1
S10/MS10	2
S 13	3
MS 13	4
MS 17	0

Angaben zu den Bolzen/Stabdübeln:
 $\varnothing = 16,0$ mm
 $l = 106$ mm

Brettschichtholz	Schnitt	2
BS 11	1-schn. =	1
BS 14k	2-schn. =	2
BS 14h	Stahlgüte:	4
BS 16k	Bolzen	1
BS 16h	4,6 =	1
BS 18k	4,6 u, 4,8 =	2
BS 18h	5,6 u, 5,8 =	3
Holzwerkstoff	Stabdübel	4
BFU-NH	S 235 =	4
BFU-Bu	S 275 =	5
FP	S 355 =	6
HFH		

Angaben zu Teil 1
 Baustoff = 6
 $d_1 = 50$ mm
 $\alpha_{1,1} = 45$ °
 $\rho_k = 410$ kg/m³

Angaben zu Teil 2
 Baustoff = 0
 $d_2 = 6$ mm
 $\alpha_{2,1} = 0$ °
 $\rho_k = -$ kg/m³

NKL =	2
$u \leq 12\%$	1
$u \leq 20\%$	2
$20\% < u$	3
KLED =	1
ständig =	1
lang =	2
mittel =	3
kurz =	4

Zweischichtige Verbindung: Tragfähigkeit pro Scherfuge

$R_d = 8,052$ kN maßgebend: $\alpha_{1,6.2.2e}$ nach EC5

GI(6.2.2 e)	$R_d = 8,052$ kN
GI(6.2.2 f)	$R_d = 8,354$ kN
GI(6.2.2 g)	$R_d = 11,381$ kN

Rechenwerte:

$k_{mod} = 0,60$ $\gamma_{M, Holz} = 1,3$ $\gamma_{M, Stahl} = 1,1$

Bauteil 1	$t_1 = 50$ mm	Bauteil 2	$t_2 = -$ mm
$f_{h,1,k} = 28,24$ N/mm ²	$f_{h,2,k} = -$ N/mm ²	$M_{y,k} = 196608$ Nmm	$M_{y,d} = 178735$ Nmm
$f_{h,1,d} = 21,81$ N/mm ²	$f_{h,2,d} = -$ N/mm ²		
$f_{h,1,\alpha,d} = 10,07$ N/mm ²	$f_{h,2,\alpha,d} = -$ N/mm ²		
$\beta = -$			

Anhang 2: Bemessungstabellen

	Inhalt	Tabelle
γ_G, γ_Q	Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen	A.1
Ψ_0, Ψ_1	Kombinationsbeiwerte	A.2
	Kombinationsregeln	A.3
	Klassen der Lasteinwirkungsdauer	A.4-5
X_k	<i>Baustoffeigenschaften</i>	
VH	Vollholz	A.6
BSH	Brettschichtholz	A.7
BFU	Bau-Furniersperrholz	A.9-11
FP	Flachpreßplatten	A.12-13
HF	Holzfasерplatten	A.14-15
	Nutzungsklassen	A.16
γ_M	Teilsicherheitsbeiwerte für Baustoffe	A.17
k_{mod}	Modifikationsfaktoren	A.18
k_{def}	Deformationsfaktoren	A.19
K_{ser}	Verschiebungsmoduln für Verbindungen	A.20
u	Grenzwerte für Durchbiegungen	A.21
$1/k_c$	Knickbeiwerte	A.22
ϕ, e	Imperfektionen für Theorie II. Ordnung	A.23
R_d	Holz-Holz-Nagelverbindungen	A.24-27
R_d	BFU-Holz-Nagelverbindungen	A.28-31
R_d	Holz-Holz-Stabdübelverbindungen	A.32-35
R_d	Stahlblech-Holz-Stabdübelverbindungen	A.36-39

Tabelle A.1 Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen (vgl. EC5: Tabelle 2.3.3.1)

Bemessungssituation	ständige Einwirkungen γ_G	veränderliche Einwirkungen γ_Q
Grenzzustand der Tragfähigkeit		
günstige Auswirkung	1,0	-
ungünstige Auswirkung	1,35	1,5
Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit	1,0	1,0

Tabelle A.4 Klassen der Lasteinwirkungsdauer (vgl. EC 5: Tabelle 3.1.6)

Klasse	Dauer der charakteristischen Lasteinwirkung	Beispiele für Lasten
ständig	länger als 10 Jahre	Eigenlasten
lang	6 Monate bis 10 Jahre	Nutzlasten in Lagerhallen
mittel	1 Woche bis 6 Monate	Verkehrslasten, Schnee
kurz	kürzer als 1 Woche	Wind, Schnee
sehr kurz	stoßartig	außergewöhnliche Einwirkungen

Tabelle A.2 Kombination von Einwirkungen; Kombinationsbeiwerte ψ_0 und ψ_1 (vgl. NAD: Tabelle 2.2-1)

Einwirkung	ψ_0	ψ_1
Verkehrslasten auf Decken		
- Wohnräume; Büroräume; Verkaufsräume bis 50 m ² ; Flure; Balkone; Räume in Krankenhäusern	0,7	0,5
- Versammlungsräume; Garagen und Parkhäuser; Turnhallen; Tribünen; Flure in Lehrgebäuden, Büchereien; Archive	0,8	0,8
- Ausstellungs- und Verkaufsräume; Geschäfts- und Warenhäuser	0,8	0,8
Windlasten	0,6	0,5
Schneelasten	0,7	0,2
alle anderen Einwirkungen	0,8	0,7

Tabelle A.5 Zuordnung von Einwirkungen in Klassen der Lasteinwirkungsdauer (vgl. NAD: Tabelle 3.1-1)

Einwirkung	Klasse
Eigenlasten nach DIN 1055 Teil 1	ständig
Lotrechte Verkehrslasten nach DIN 1055 Teil 3	
Lotrechte, gleichmäßig verteilte Lasten für Dächer, Decken und Treppen (sofern nicht nachfolgend anders eingestuft)	mittel
- Gleichmäßig verteilte Lasten für waagerechte oder bis 1:20 geneigte Dächer, bei zeitweiligem Aufenthalt von Personen	kurz
- Fertigteildecken mit geringerer Tragfähigkeit während des Einbauzustandes, die mit Transportgefäßen für Beton befahren werden	kurz
- Spitzböden, die aufgrund ihrer Querschnittsmaße nur bedingt begehbar sind	lang
- Lagerräume	lang
- Werkstätten und Fabriken mit schwerem Betrieb	1)
Lotrechte Einzelverkehrslasten für Dächer	kurz
Lotrechte Verkehrslasten für befahrene Decken	kurz
Hubschrauberlandeplätze auf Dachdecken	mittel
Lotrechte Pendelkräfte	mittel
Waagerechte Verkehrslasten nach DIN 1055 T3	
Horizontallast an Brüstungen und Geländern in Holmhöhe	kurz
Horizontallasten zur Erzielung einer ausreichenden Längs- und Quersteifigkeit	2)
Bremskräfte und Horizontallasten von Kranen und Kranbahnen	kurz
Horizontalstöße auf Stützen und Wände	sehr kurz
Waagerechte Pendelkräfte	mittel
Horizontallasten für Hubschrauberlandeplätze auf Dachdecken	
- für den Überrollschutz	sehr kurz
- übrige Horizontallasten	kurz
Windlasten bei nicht schwingungsanfälligen Bauwerken nach DIN 1055 Teil 4	kurz
Schneelast und Eislast nach DIN 1055 Teil 5	
- Regelschneelast $s_n \leq 2,0 \text{ kN/m}^2$	kurz
- Regelschneelast $s_n > 2,0 \text{ kN/m}^2$	mittel
1) im Einzelfall zu entscheiden	
2) entsprechend den zugehörigen lotrechten Lasten	

Tabelle A.3 Regeln zur Anwendung der Kombinationsbeiwerte (vgl. EC 5: Tabelle 2.3.2.2)

Bemessungssituation	ständige Einwirkungen	veränderliche Einwirkungen	
		eine	alle übrigen
Grenzzustand der Tragfähigkeit			
Grundregel	$\gamma_G G_k$	$\gamma_Q Q_k$	$\psi_0 \gamma_Q Q_k$
1. vereinfachte Regel	$\gamma_G G_k$	$1,5 Q_k^{1)3)}$	-
2. vereinfachte Regel	$\gamma_G G_k$	$1,35 Q_k^{2)3)}$	$1,35 Q_k^{2)}$
Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit	G_k	Q_k	$\psi_1 Q_k$

1) wenn nur die ungünstigste veränderliche Einwirkung berücksichtigt wird
 2) wenn alle ungünstigen veränderlichen Einwirkungen berücksichtigt werden
 3) der ungünstigere Wert aus 1) und 2) ist maßgebend

Erläuterung wichtiger Eigenschaftswerte für VH und BSH

$f_{m,k}$	char. Biegefestigkeit Faser (5%-Fraktile)
$f_{t,0,k}$	char. Zugfestigkeit Faser (5%-Fraktile)
$f_{t,90,k}$	char. Zugfestigkeit \perp Faser (5%-Fraktile)
$f_{c,0,k}$	char. Druckfestigkeit Faser (5%-Fraktile)
$f_{c,90,k}$	char. Druckfestigkeit \perp Faser (5%-Fraktile)
$f_{v,k}$	char. Schub- und Torsionsfestigkeit (5%-Fraktile)
$E_{0,mean}$	mittlerer Elastizitätsmodul Faser
$E_{0,05}$	5%-Fraktile des Elastizitätsmoduls Faser
$E_{90,mean}$	mittlerer Elastizitätsmodul \perp Faser
$E_{90,05}$	5%-Fraktile des Elastizitätsmoduls \perp Faser
G_{mean}	mittlerer Schubmodul
G_{05}	5%-Fraktile des Schubmoduls
ρ_k	char. Rohdichte (5%-Fraktile)

Tabelle A.6 Vollholz; charakteristische Festigkeits- und Steifigkeitskennwerte in N/mm², charakteristische Rohdichtekennwerte in kg/m³ (vgl. NAD: Tabelle 3.2-1)

	Sortierklasse nach DIN 4074 Teil 1				
	S 7 / MS 7 ¹⁾	S 10 / MS 10 ¹⁾	S13	MS 13 ¹⁾	MS 17 ¹⁾
$f_{m,k}$	16	24	30	35	40
$f_{t,0,k}$	0 ²⁾	14	18	21	24
$f_{t,90,k}$	0 ³⁾	0,2	0,2	0,2	0,2
$f_{c,0,k}$	17	21	23	25	26
$f_{c,90,k}$	4	5	5	5	6
$f_{v,k}$	1,8	2,5	2,5	3,0	3,5
$E_{0,mean}$	8000	11000	12000	13000	14000
$E_{0,05}$	5400	7400	8000	8700	9400
$E_{90,mean}$	270	370	400	430	470
$E_{90,05}$	180	250	270	290	310
G_{mean}	500	690	750	810	880
G_{05}	330	460	500	540	590
ρ_k	350	380	380	400	420

Die Werte dieser Tabellen gelten für Bauholz aus den Holzarten Fichte (*Picea abies* Karst.), Kiefer (*Pinus sylvestris* L.), Tanne (*Abies alba* Mill.), Lärche (*Larix decidua* Mill.), Douglasie (*Pseudotsuga menziesii* Franco), Southern Pine (*Pinus palustris*), Western Hemlock (*Tsuga heterophylla* Sarg.), Yellow Cedar (*Chamaecyparis nootkatensis* Spach).

1) maschinell sortiertes Holz, die Verfügbarkeit dieser Sortierklassen ist abzufragen
 2) für MS 7 gilt: $f_t \cap k = 10 \text{ N/mm}^2$
 3) für MS 7 gilt: $f_{t,90,k} = 0,2 \text{ N/mm}^2$

Tabelle A.7 Brettschichtholz; charakteristische Festigkeits- und Steifigkeitskennwerte in N/mm², charakteristische Rohdichtekennwerte in kg/m³ (vgl. NAD: Tabelle 3.3-1)

1)	Brettschichtholz - Festigkeitsklassen						
	BS 11	BS 14 ⁴⁾		BS 16 ⁴⁾		BS 18 ⁴⁾	
		k ²⁾	h ³⁾	k ²⁾	h ³⁾	k ²⁾	h ³⁾
$f_{m,g,k}$	24	28		32		36	
$f_{t,0,g,k}$	17	17,5	20,5	18,5	23	23,5	25
$f_{t,90,g,k}$	0,45	0,45		0,45		0,45	
$f_{c,0,g,k}$	24	27,5	29	28	31	30,5	32
$f_{c,90,g,k}$	5,5	5,5		5,5		6,5	
$f_{v,g,k}$	2,7	2,7		2,7		3,2	
$E_{0,g,mean}$	11500	12500		13500		14500	
$E_{0,g,05}$	9200	10000		10800		11600	
$E_{90,g,mean}$	380	420		450		480	
$E_{90,g,05}$	300	340		360		380	
$G_{g,mean}$	720	780		840		900	
$G_{g,05}$	580	620		670		720	
$\rho_{g,k}$	410	410	410	430	430	430	450

1) Fußzeiger g Brettschichtholz
 2) Kombiniertes Brettschichtholz unter Verwendung von Lamellen aus zwei unterschiedlichen Sortierklassen.
 3) Homogenes Brettschichtholz unter Verwendung von Lamellen einer Sortierklasse
 4) Besonderer Eignungsnachweis des herstellenden Betriebes zur Erfüllung der Anforderungen an die Keilzinkenverbindungen erforderlich

Tabelle A.8 Lamellenaufbau von Brettschichtholz in Übereinstimmung mit Tabelle 7 (vgl. NAD: Tabelle B.1-1)

Sortierklasse der Lamellen	Brettschichtholz - Festigkeitsklasse							
	BS11	BS 14		BS 16		BS 18		
		k	h	k	h	k	h	
äußere Lamellen ¹⁾	S 10	S 13	S 13	MS13	MS13	MS17	MS17	
innere Lamellen	S 10	S 10	S 13	MS10	MS13	MS13	MS17	

1) jeweils 1/6 der Trägerhöhe auf beiden Seiten, mindestens jedoch zwei Lamellen

Erläuterung wichtiger Eigenschaftswerte für BFU, FP und HF

$f_{m,k}$	char. Biegefestigkeit (5%-Fraktile)
$f_{t,k}$	char. Zugfestigkeit (5%-Fraktile)
$f_{c,k}$	char. Druckfestigkeit (5%-Fraktile)
$f_{v,k}$	char. Schubfestigkeit (5%-Fraktile)
$E_{m,mean}$	mittlerer Biege-Elastizitätsmodul
$E_{m,05}$	5%-Fraktile des Biege-E-Moduls
$E_{t,mean}$	mittlerer Zug-Elastizitätsmodul
$E_{t,05}$	5%-Frakt. des Zug-Elastizitätsmoduls
$E_{c,mean}$	mittlerer Druck-Elastizitätsmodul
$E_{c,05}$	5%-Fraktile des Druck-E-Moduls
G_{mean}	mittlerer Schubmodul
G_{05}	5%-Fraktile des Schubmoduls
ρ_k	char. Rohdichte (5%-Fraktile)

Tabelle A.9 Verwendung von Bau-Furniersperrholz nach DIN 68 705 Teil3 und Teil 5

Plattentyp	Nutzungsklasse		
	1	2	3
BFU 100G ¹⁾	x	x	x
BFU 100	x	x	-
BFU 20 ²⁾	x	-	-

¹⁾ unter Beachtung der Feuchtegrenzwerte nach DIN 68 800 Teil 2
²⁾ darf nur für Holztafeln und Deckenschalungen im Sinne von DIN 1052 Teil 1 verwendet werden

Tabelle A.10 Bau-Furniersperrholz nach DIN 68 705 Teil 3; Charakteristische Festigkeits- und Steifigkeitskennwerte in N/mm², charakteristische Rohdichtekennwerte in kg/m³ (vgl. NAD: Tabelle 3.4-1)

	Bau-Furniersperrholz nach DIN 68 705 Teil 3	
	parallel	rechtwinklig zur Faserrichtung der Deckfurniere
Plattenbeanspruchung		
$f_{m,k}$	32	12
$f_{v,k}$ ^{1) 3)}	2,5	2,5
$E_{m,mean}$ $E_{m,05}$	5500 (8000) ²⁾ 4400 (6400) ²⁾	1500 (400) ²⁾ 1200 (320) ²⁾
G_{mean} G_{05}	500 400	500 400
Scheibenbeanspruchung		
$f_{m,k}$	22	14
$f_{t,k}$	18	9
$f_{c,k}$ $f_{v,k}$ ⁴⁾	18 8 (5) ²⁾	9 8 (5) ²⁾
$E_{m,mean}$ $E_{m,05}$	4500 3600	2500 (1000) ²⁾ 2000 (800) ²⁾
$E_{t,mean}$ und $E_{c,mean}$ $E_{t,05}$ und $E_{c,05}$	4500 3600	2500 (1000) ²⁾ 2000 (800) ²⁾
G_{mean} G_{05}	250 200	250 200
ρ_k	400	

Tabelle A.11 Bau-Furniersperrholz nach DIN 68 705 Teil 5; Charakteristische Festigkeits- und Steifigkeitskennwerte in N/mm², charakteristische Rohdichtekennwerte in kg/m³ (NAD: Tabelle 3.4-2)

Klasse =	Bau-Furniersperrholz nach DIN 68 705 Teil 5 ⁵⁾									
	parallel					rechtwinklig				
	zur Faserrichtung der Deckfurniere									
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Plattenbeanspruchung										
$f_{m,k}$	40	45	51	58	66	38	33	27	18	11
$f_{v,k}$ ^{1) 3)}	3,5									
$E_{m,mean}$ $E_{m,05}$	5900 4720	6600 5280	7400 5920	8700 6960	9600 7680	4000 3200	3800 3040	2850 2280	1500 1200	650 520
G_{mean} G_{05}	700 560									
Scheibenbeanspruchung										
$f_{m,k}$	29	36	36	43	36	31	29	24	20	24
$f_{t,k}$	29	36	36	43	36	31	29	24	20	24
$f_{c,k}$ $f_{v,k}$ ⁴⁾	21 11 (8) ²⁾	26 11 (8) ²⁾	26 11 (8) ²⁾	31 11 (8) ²⁾	26 11 (8) ²⁾	22 11 (8) ²⁾	21 11 (8) ²⁾	17 11 (8) ²⁾	14 11 (8) ²⁾	17 11 (8) ²⁾
$E_{m,mean}$ $E_{m,05}$	4400 3520	5500 4400	5500 4400	6600 5280	5500 4400	4700 3760	4400 3520	3650 2920	3000 2400	3700 2960
$E_{t,mean}$, $E_{c,mean}$ $E_{t,05}$, $E_{c,05}$	4400 3520	5500 4400	5500 4400	6600 5280	5500 4400	4700 3760	4400 3520	3650 2920	3000 2400	3700 2960
G_{mean} G_{05}	400 320									
ρ_k	600									

Erläuterung der Fußnoten:

- 1) Die Scher- bzw. Schubbeanspruchung II zur Plattenebene wird auch als "rolling shear" bezeichnet
- 2) Die Werte in Klammern () gelten für Furniersperrholz mit nur drei Lagen
- 3) Im EC 5 wird der zugehörige Bemessungswert mit $f_{v,90,d}$ bezeichnet
- 4) Im EC 5 wird der zugehörige Bemessungswert mit $f_{v,0,d}$ bezeichnet
- 5) Die charakteristischen Festigkeits- und Steifigkeitswerte (Mittelwerte) von beliebig aufgebautem Bau-Furniersperrholz aus Buche nach DIN 68 705 Teil 5 dürfen für Beanspruchungen auf Biegung, Zug und Druck auch nach Beiblatt zu DIN 68 705 Teil 5 mit den dort angegebenen Aufbaufaktoren (Abschnitt 1) und Berechnungsformeln (Tabelle 1) bestimmt werden. Anstelle der dort aufgeführten Mindestbasiswerte (Abschnitt 2 und Tabelle 1) sind dabei jedoch folgende Werte zu verwenden:
 Biege- und Zugfestigkeit 77 N/mm²
 Druckfestigkeit 58 N/mm²
 Elastizitätsmodul 11000 N/mm²
 (Zug, Druck und Biegung)

Tabelle A.12 Verwendung von Flachpreßplatten nach DIN 68763

Plattentyp	Nutzungsklasse		
	1	2	3
FP - V100G	x	x	-
FP - V100	x	x	-
FP - V20 ¹⁾	x	-	-

¹⁾ darf nur für Holztafeln und Deckenschalungen im Sinne von DIN 1052 Teil 1 verwendet werden

Tabelle A.13 Flachpreßplatten nach DIN 68 763; Charakteristische Festigkeits- und Steifigkeitskennwerte in N/mm², charakteristische Rohdichtekennwerte in kg/m³ (vgl. NAD: Tabelle 3.4-3)

	Flachpreßplatten nach DIN 68 763 Plattendicke in mm					
	≤ 13	>13- 20	>20- 25	>25- 32	>32- 40	>40- 50
Plattenbeanspruchung						
f _{m,k}	15	13,3	11,7	10,0	8,3	6,7
f _{v,k} ¹⁾²⁾	1,6	1,6	1,6	1,2	1,2	1,2
E _{m,mean}	3750	3300	2800	2550	1900	1400
E _{m,05}	3375	2970	2520	2290	1710	1260
G _{mean}	1100	1000	850	700	550	450
G ₀₅	990	900	765	630	495	405
Scheibenbeanspruchung						
f _{m,k}	11,4	10,0	8,4	7,0	6,0	5,0
f _{t,k}	10,0	9,0	8,0	7,0	6,0	5,0
f _{c,k}	12,0	11,0	10,0	9,0	8,0	7,0
f _{v,k} ³⁾	7,2	7,2	7,2	4,8	4,8	4,8
E _{m,mean}	2200	1900	1600	1300	1000	800
E _{m,05}	1980	1710	1440	1170	900	720
E _{t,mean} , E _{c,mean}	2200	2000	1700	1400	1100	900
E _{t,05} , E _{c,05}	1980	1800	1530	1260	990	810
G _{r,mean}	200	200	200	100	100	100
G _{r,05} ¹⁾	180	180	180	90	90	90
ρ _k	650	600	550	550	500	500

¹⁾ Die Scher- bzw. Schubbeanspruchung II zur Plattenebene wird auch als "rolling shear" bezeichnet
²⁾ Im EC 5 wird der zugehörige Bemessungswert mit f_{v,90,d} bezeichnet
³⁾ Im EC 5 wird der zugehörige Bemessungswert mit f_{v,0,d} bezeichnet

Tabelle A.16 Nutzungsklassen (vgl. EC 5: Abschn. 3.1.5)

Nutzungs-klasse	Gleichgewichts-feuchte u des Holzes	Umgebungs-klima	Beispiel
1	u ≤ 12%	20°C und 65% rel. Luftfeuchte, die nur für einige Wochen pro Jahr überschritten wird	beheizte Innenräume
2	u ≤ 20%	20°C und 85% rel. Luftfeuchte, die nur für einige Wochen pro Jahr überschritten wird	überdachte Tragwerke
3	u > 20%	Klimabedingungen, die zu höheren Holzfeuchten führen	frei der Witterung ausgesetzte Bau-teile

Tabelle A.14 Verwendung von Holzfaserplatten nach DIN 68 754 Teil 1

Plattentyp	Nutzungsklasse		
	1	2	3
HFH 20 ¹⁾	x	-	-
HFM 20 ¹⁾	x	-	-

¹⁾ darf nur für Holzhäuser nach DIN 1052 Teil 3 verwendet werden

Tabelle A.15 Holzfaserplatten nach DIN 68 754 Teil 1; Charakteristische Festigkeits- und Steifigkeitskennwerte in N/mm², charakteristische Rohdichtekennwerte in kg/m³ (vgl. NAD: Tabelle 3.4-4)

	Holzfaserplatten nach DIN 68 754 Teil 1		
	hart	mittelhart	
	Plattendicke in mm		
	≤ 4	> 4	5 - 16
Plattenbeanspruchung			
f _{m,k}	33	25	10
f _{v,k} ¹⁾²⁾	2	2	1,5
E _{m,mean}	4700	4100	1750
E _{m,05}	4230	3690	1575
G _{mean}	1250	1000	500
G ₀₅	1125	900	450
Scheibenbeanspruchung			
f _{m,k}	22	16	8
f _{t,k}	20	20	10
f _{c,k}	20	20	10
f _{v,k} ³⁾	7,5	7,5	4
E _{m,mean}	2500	2000	1000
E _{m,05}	2250	1800	900
E _{t,mean} , E _{c,mean}	2500	2000	1000
E _{t,05} , E _{c,05}	2250	1800	900
G _{mean}	200	200	100
G ₀₅	180	180	90
ρ _k	900	850	600

¹⁾ Die Scher- bzw. Schubbeanspruchung II zur Plattenebene wird auch als "rolling shear" bezeichnet
²⁾ Im EC 5 wird der zugehörige Bemessungswert mit f_{v,90,d} bezeichnet
³⁾ Im EC 5 wird der zugehörige Bemessungswert mit f_{v,0,d} bezeichnet

Tabelle A.17 Teilsicherheitsbeiwerte für Baustoffe (vgl. EC 5: Tabelle 2.3.3.2)

Bemessungssituation	Teilsicherheitsbeiwert γ_M
Grenzzustände der Tragfähigkeit Holz und Holzwerkstoffe Stahl in Verbindungen	1,3 1,1
Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit	1,0

Tabelle A.18 Werte des Modifikationsfaktors k_{mod} (vgl. EC 5: Tabelle 3.1.7)

Baustoff / Klasse der Lasteinwirkungsdauer	Nutzungs-kategorie		
	1	2	3
Vollholz und Brettschichtholz, Bau-Furniersperrholz ständig lang mittel kurz sehr kurz	0,60 0,70 0,80 0,90 1,10	0,60 0,70 0,80 0,90 1,10	0,50 0,55 0,65 0,70 0,90
Flachpreßplatten ständig lang mittel kurz sehr kurz	0,30 0,45 0,65 0,85 1,10	0,20 0,30 0,45 0,60 0,80	- - - - -
Holz-faserplatten ständig lang mittel kurz sehr kurz	0,20 0,40 0,60 0,80 1,10	- - - - -	- - - - -
Bei einer Lastfallkombination mit Einwirkungen, die zu verschiedenen Klassen der Lasteinwirkungsdauern gehören, darf k_{mod} für die Einwirkung mit der kürzesten Dauer gewählt werden.			

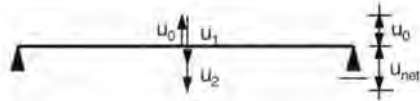
Tabelle A.19 Werte des Deformationsfaktors k_{def} für Bauholz, Holzwerkstoffe und Verbindungen (vgl. EC 5: Tabelle 4.1)

Baustoff / Klasse der Lasteinwirkungsdauer	Nutzungs-kategorie		
	1	2	3
Vollholz ¹⁾ und Brettschichtholz ständig lang mittel kurz	0,60 0,50 0,25 0,00	0,80 0,50 0,25 0,00	2,00 1,50 0,75 0,30
Bau-Furniersperrholz ständig lang mittel kurz	0,80 0,50 0,25 0,00	1,00 0,60 0,30 0,00	2,50 1,80 0,90 0,40
Flachpreßplatten ständig lang mittel kurz	2,25 1,50 0,75 0,00	3,00 2,00 1,00 0,40	- - - -
Holz-faserplatten ständig lang mittel kurz	3,00 2,00 1,00 0,35	- - - -	- - - -
1) Bei Vollholz, das beim Einbau eine Holzfeuchte nahe dem Fasersättigungsbereich aufweist und im eingebautem Zustand austrocknen kann, sollten die Werte für k_{ref} um 1,0 erhöht werden			
Bei einer Lastfallkombination mit Einwirkungen, die zu verschiedenen Klassen der Lasteinwirkungsdauern gehören, sind die Durchbiegungsanteile aus den verschiedenen Einwirkungen mit den jeweils zugehörigen Werten für k_{def} zu berechnen.			

Tabelle A.20 Werte für den Anfangsverschiebungsmodul K_{ser} für stiftförmige Verbindungsmittel (vgl. EC5: Tabelle 4.2); ρ_k in kg/m^3 und d in mm

Art des Verbindungsmittels	Holz-Holz Holzwerkstoff-Holz Stahl-Holz
Stabdübel Schrauben Nägel (vorgebohrt)	$\rho_k^{1,5} d / 20$
Nägel (nicht vorgebohrt)	$\rho_k^{1,5} d^{0,8} / 25$
Klammern	$\rho_k^{1,5} d^{0,8} / 60$
Für Bolzen kann der Anfangsverschiebungsmodul K_{ser} für Stabdübel verwendet werden.	
Bei Bauteilen mit unterschiedlichen charakteristischen Rohdichtekennwerten $\rho_{k,1}$ und $\rho_{k,2}$ sollte für ρ_k folgender Wert gesetzt werden:	
$\rho_k = \sqrt{\rho_{k,1} \cdot \rho_{k,2}}$	

Tabelle A.21 Empfohlene Grenzwerte für Durchbiegungen



u_0 = Überhöhung im lastfreien Zustand,
 u_1 = Durchbiegung infolge ständiger Einwirkungen (G),
 u_2 = Durchbiegung infolge veränderlicher Einwirkungen (Q).

$u_{2,inst}$	$\leq l/300$
bzw.	$\leq l/150$ bei Kragträgern
$u_{2,fln}$	$\leq l/200$
bzw.	$\leq l/100$ bei Kragträgern
$u_{net,fln}$	$\leq l/200$
bzw.	$\leq l/100$ bei Kragträgern

mit
 l = Spannweite eines Biegeträgers bzw. Länge eines Kragträgers.

Verbände

Gesamtdurchbiegung:
 $u_{ges} \leq l/500$

Durchbiegung infolge von q_d allein:
 $u_{qd} \leq l/700$

Tabelle A.23 Imperfektionsannahmen für Nachweise nach der Spannungstheorie II. Ordnung

Schiefstellung	
$\phi = 0.005$	für $h \leq 5$ m
$\phi = 0.005 \sqrt{\frac{5}{h}}$	für $h > 5$ m
mit h = Tragwerkshöhe bzw. Stablänge in m	
Ausmitte	
$e = 0,003 \cdot l$	
mit l = Stablänge	

Tabelle A.22 $1/k_c$ - Werte für den Knicknachweis

λ	S 10	S 13	MS 17	BS 11	BS 14		BS 16		BS 18	
	MS 10	MS 13			k	h	k	h	k	h
30	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
40	1,06	1,06	1,06	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03
50	1,18	1,18	1,17	1,08	1,09	1,11	1,08	1,10	1,08	1,09
60	1,40	1,41	1,38	1,22	1,25	1,29	1,21	1,28	1,22	1,25
70	1,73	1,75	1,70	1,49	1,55	1,62	1,48	1,61	1,50	1,56
80	2,16	2,18	2,11	1,86	1,95	2,05	1,85	2,03	1,88	1,96
90	2,66	2,69	2,60	2,31	2,43	2,55	2,30	2,53	2,33	2,43
100	3,22	3,26	3,15	2,82	2,96	3,12	2,80	3,09	2,84	2,97
110	3,85	3,90	3,76	3,38	3,56	3,74	3,36	3,71	3,41	3,57
120	4,53	4,59	4,43	4,00	4,21	4,43	3,98	4,39	4,03	4,22
130	5,28	5,35	5,15	4,67	4,92	5,18	4,64	5,13	4,71	4,93
140	6,08	6,16	5,94	5,40	5,68	5,99	5,37	5,93	5,44	5,70
150	6,95	7,03	6,78	6,18	6,51	6,85	6,14	6,79	6,23	6,53
160	7,87	7,97	7,68	7,01	7,38	7,78	6,97	7,70	7,07	7,41
170	8,85	8,96	8,63	7,90	8,32	8,76	7,85	8,68	7,96	8,34
180	9,88	10,01	9,64	8,84	9,31	9,81	8,78	9,71	8,91	9,34
190	10,98	11,12	10,71	9,83	10,35	10,91	9,77	10,80	9,91	10,39
200	12,13	12,29	11,83	10,88	11,46	12,07	10,81	11,95	10,96	11,49
210	13,34	13,51	13,01	11,97	12,61	13,29	11,90	13,16	12,07	12,65
220	14,61	14,80	14,25	13,13	13,83	14,57	13,05	14,43	13,23	13,87
230	15,94	16,14	15,54	14,33	15,10	15,91	14,24	15,75	14,44	15,14
240	17,32	17,54	16,89	15,59	16,42	17,31	15,49	17,13	15,71	16,47
250	18,76	19,00	18,30	16,90	17,80	18,76	16,80	18,57	17,03	17,86

Tabelle A.24 Bemessungswert der Tragfähigkeit R_d [kN] von ein- und zweischnittigen Holz-Holz-Nagel-Verbindungen pro Verbindung und Scherfuge

Nagel	ρ_k [kg/m ³]	b_1 b_2	24		40			60			80			100			120	
			24-40	60-100	40	60-80	120	60	80-100	120-160	80	100-120	160-200	100	120	160-200	120-200	
22x45	380		0,23	0,23														
22x50	430		0,26	0,26														
28x65	380			0,36	0,37	0,37	0,37											
	430			0,39	0,40	0,40	0,40											
31x65/70	380			0,41	0,41	0,41	0,41											
31x80	430			0,45	0,45	0,45	0,45											
34x80	380			0,46	0,56	0,56	0,56											
	430			0,50	0,60	0,60	0,60											
34x90	380			0,46	0,56	0,56	0,56	0,51	0,51	0,51								
	430			0,50	0,60	0,60	0,60	0,56	0,56	0,56								
38x100	380					0,67	0,67	0,67	0,67	0,67								
	430					0,73	0,73	0,73	0,73	0,73								
42x100	380					0,75	0,75	0,75	0,75	0,75								
42x110	430					0,83	0,73	0,83	0,83	0,83								
42x120	380				0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75					
	430				0,83	0,83	0,73	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83					
46x130	380							0,83		0,94	0,94	0,94	0,94	0,94				
	430							0,92		1,00	1,00	1,00	1,00	1,00				
55x140	380									1,26	1,26	1,26	1,26	1,26	1,26	1,26	1,26	
55x160	430									1,34	1,34	1,34	1,34	1,34	1,34	1,34	1,34	
60x180	380									1,41		1,41		1,45	1,45	1,45	1,45	
	430									1,54		1,54		1,54	1,54	1,54	1,54	
70x120	380															1,87	1,87	
	430															1,99	1,99	
76x230	380																2,14	2,14
76x260	430																2,28	2,28

$k_{mod} = 0,6$ nicht vorgebohrt

Es dürfen näherungsweise die Werte für $380 \text{ kg/m}^3 \leq \rho_k \leq 430 \text{ kg/m}^3$ und/oder die Werte für $0,6 \leq k_{mod} \leq 0,9$ jeweils linear interpoliert werden !

Die grau unterlegten Felder gelten für zweischnittige Verbindungen

Tabelle A.25 Bemessungswert der Tragfähigkeit R_d [kN] von ein- und zweischnittigen Holz-Holz-Nagel-Verbindungen pro Verbindung und Scherfuge.

Nagel	ρ_k [kg/m ³]	b_1 b_2	24		40			60			80			100			120		
			24-40	60-100	40	60-80	120	60	80-100	120-160	80	100-120	160-200	100	120	160-200	120-200		
22x45	380		0,34	0,34															
22x50	430		0,36	0,36															
28x65	380			0,49	0,51	0,51	0,51												
	430			0,54	0,54	0,54	0,54												
31x65/70	380			0,55	0,56	0,56	0,56												
31x80	430			0,61	0,62	0,62	0,62												
34x80	380			0,61	0,70	0,70	0,70												
	430			0,67	0,74	0,74	0,74												
34x90	380			0,61	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70									
	430			0,67	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74									
38x100	380					0,84	0,84	0,84	0,84	0,84									
	430					0,89	0,89	0,89	0,89	0,89									
42x100	380					0,99	0,99	0,99	0,99	0,99									
42x110	430					1,05	1,05	1,05	1,05	1,05									
42x120	380				0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99						
	430				1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05						
46x130	380							1,15		1,15	1,15	1,15	1,15						
	430							1,22		1,22	1,22	1,22	1,22						
55x140	380									1,54	1,54	1,54	1,54	1,54	1,54	1,54	1,54		
55x160	430									1,64	1,64	1,64	1,64	1,64	1,64	1,64	1,64		
60x180	380																1,78	1,78	
	430																1,89	1,89	
70x120	380																2,29	2,29	
	430																2,44	2,44	
76x230	380																	2,63	2,63
76x260	430																	2,79	2,79

$k_{mod} = 0,9$ nicht vorgebohrt

Es dürfen näherungsweise die Werte für $380 \text{ kg/m}^3 \leq \rho_k \leq 430 \text{ kg/m}^3$ und/oder die Werte für $0,6 \leq k_{mod} \leq 0,9$ jeweils linear interpoliert werden !

Die grau unterlegten Felder gelten für zweischnittige Verbindungen

Tabelle A.26 Bemessungswert der Tragfähigkeit R_d [kN] von ein- und zweischnittigen Holz-Holz-Nagel-Verbindungen pro Verbindung und Scherfuge.

Nagel	ρ_k [kg/m³]	b_1 b_2	24		40			60			80			100			120	
			24-40	60-100	40	60-80	120	60	80-100	120-160	80	100-120	160-200	100	120	160-200	120-200	
22x45	380		0,29	0,29														
22x50	430		0,33	0,33														
28x65	380			0,45	0,46	0,46	0,46											
	430			0,49	0,50	0,50	0,50											
31x65/70	380			0,51	0,52	0,52	0,52											
31x80	430			0,56	0,58	0,58	0,58											
34x80	380			0,58	0,67	0,67	0,67											
	430			0,64	0,71	0,71	0,71											
34x90	380			0,58	0,67	0,67	0,67	0,66	0,66	0,66								
	430			0,64	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71								
38x100	380					0,82	0,82	0,82	0,82	0,82								
	430					0,87	0,87	0,87	0,87	0,87								
42x100	380					0,98	0,98	0,98	0,98	0,98								
42x110	430					1,04	1,04	1,04	1,04	1,04								
42x120	380				0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98					
	430				1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04					
46x130	380						1,15		1,15	1,15	1,15	1,15	1,15					
	430						1,22		1,22	1,22	1,22	1,22	1,22					
55x140	380						1,45		1,58	1,58	1,58	1,58	1,58	1,58	1,58	1,58		
55x160	430						1,59		1,68	1,68	1,68	1,68	1,68	1,68	1,68	1,68		
60x180	380							1,84		1,84		1,84	1,84	1,84	1,84	1,84	1,84	
	430							1,96		1,96		1,96	1,96	1,96	1,96	1,96	1,96	
70x120	380											2,42		2,42	2,42	2,42	2,42	
	430											2,57		2,57	2,57	2,57	2,57	
76x230	380											2,79		2,79		2,79	2,79	
76x260	430											2,97		2,97		2,97	2,97	

Es dürfen näherungsweise die Werte für $380 \text{ kg/m}^3 \leq \rho_k \leq 430 \text{ kg/m}^3$ und/oder die Werte für $0,6 \leq k_{mod} \leq 0,9$ jeweils linear interpoliert werden!

Die grau unterlegten Felder gelten für zweischnittige Verbindungen

Tabelle A.27 Bemessungswert der Tragfähigkeit R_d [kN] von ein- und zweischnittigen Holz-Holz-Nagel-Verbindungen pro Verbindung und Scherfuge.

Nagel	ρ_k [kg/m³]	b_1 b_2	24		40			60			80			100			120	
			24-40	60-100	40	60-80	120	60	80-100	120-160	80	100-120	160-200	100	120	160-200	120-200	
22x45	380		0,38	0,38														
22x50	430		0,40	0,40														
28x65	380			0,58	0,58	0,58	0,58											
	430			0,62	0,62	0,62	0,62											
31x65/70	380			0,70	0,70	0,70	0,70											
31x80	430			0,74	0,74	0,74	0,74											
34x80	380			0,79	0,82	0,82	0,82											
	430			0,87	0,87	0,87	0,87											
34x90	380			0,79	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82								
	430			0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87								
38x100	380					1,00	1,00	1,00	1,00	1,00								
	430					1,07	1,07	1,07	1,07	1,07								
42x100	380					1,20	1,20	1,20	1,20	1,20								
42x110	430					1,27	1,27	1,27	1,27	1,27								
42x120	380				1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20					
	430				1,27	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27					
46x130	380						1,41		1,41	1,41	1,41	1,41	1,41					
	430						1,50		1,50	1,50	1,50	1,50	1,50					
55x140	380						1,93		1,93	1,93	1,93	1,93	1,93	1,93	1,93	1,93		
55x160	430						2,06		2,06	2,06	2,06	2,06	2,06	2,06	2,06	2,06		
60x180	380							2,25		2,25		2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	
	430							2,40		2,40		2,40	2,40	2,40	2,40	2,40	2,40	
70x120	380											2,96		2,96	2,96	2,96	2,96	
	430											3,15		3,15	3,15	3,15	3,15	
76x230	380											3,42		3,42		3,42	3,42	
76x260	430											3,64		3,64		3,64	3,64	

Es dürfen näherungsweise die Werte für $380 \text{ kg/m}^3 \leq \rho_k \leq 430 \text{ kg/m}^3$ und/oder die Werte für $0,6 \leq k_{mod} \leq 0,9$ jeweils linear interpoliert werden!

Die grau unterlegten Felder gelten für zweischnittige Verbindungen

Tabelle A.28 Bemessungswert der Tragfähigkeit R_D [kN] für einschnittige Bau-Furniersperrholz/Holz-Nagelverbindungen

$k_{mod} = 0,6$		nicht vorgebohrt $b_2 \geq 60$ mm				
Nagelabmessungen	$\rho_{k,2}$ [kg/m ³]	b_1	16		25	
			$\rho_{k,1}$	400	600	400
28 x 65	380		0,36	0,43	0,45	0,48
	430		0,37	0,45	0,46	0,50
31 x 65	380		0,41	0,49	0,50	0,57
31 x 70						
31 x 80	430		0,42	0,51	0,51	0,59

Es dürfen näherungsweise die Werte für $380 \text{ kg/m}^3 \leq \rho_k \leq 430 \text{ kg/m}^3$ und/oder die Werte für $0,6 \leq k_{mod} \leq 0,9$ jeweils linear interpoliert werden !

Tabelle A.30 Bemessungswert der Tragfähigkeit R_D [kN] für einschnittige Bau-Furniersperrholz/Holz-Nagelverbindungen

$k_{mod} = 0,6$		vorgebohrt $b_2 \geq 60$ mm				
Nagelabmessungen	$\rho_{k,2}$ [kg/m ³]	b_1	16		25	
			$\rho_{k,1}$	400	600	400
28 x 65	380		0,38	0,47	0,48	0,53
	430		0,39	0,48	0,49	0,55
31 x 65	380		0,44	0,53	0,53	0,63
31 x 70						
31 x 80	430		0,45	0,55	0,55	0,65

Es dürfen näherungsweise die Werte für $380 \text{ kg/m}^3 \leq \rho_k \leq 430 \text{ kg/m}^3$ und/oder die Werte für $0,6 \leq k_{mod} \leq 0,9$ jeweils linear interpoliert werden !

Tabelle A.29 Bemessungswert der Tragfähigkeit R_D [kN] für einschnittige Bau-Furniersperrholz/Holz-Nagelverbindungen

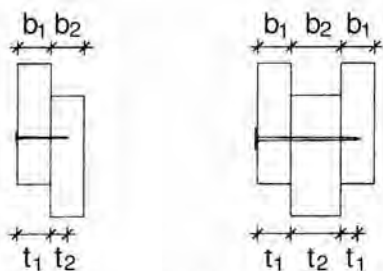
$k_{mod} = 0,9$		nicht vorgebohrt $b_2 \geq 60$ mm				
Nagelabmessungen	$\rho_{k,2}$ [kg/m ³]	b_1	16		25	
			$\rho_{k,1}$	400	600	400
28 x 65	380		0,48	0,59	0,55	0,59
	430		0,49	0,61	0,57	0,61
31 x 65	380		0,54	0,66	0,65	0,70
31 x 70						
31 x 80	430		0,56	0,69	0,67	0,73

Es dürfen näherungsweise die Werte für $380 \text{ kg/m}^3 \leq \rho_k \leq 430 \text{ kg/m}^3$ und/oder die Werte für $0,6 \leq k_{mod} \leq 0,9$ jeweils linear interpoliert werden !

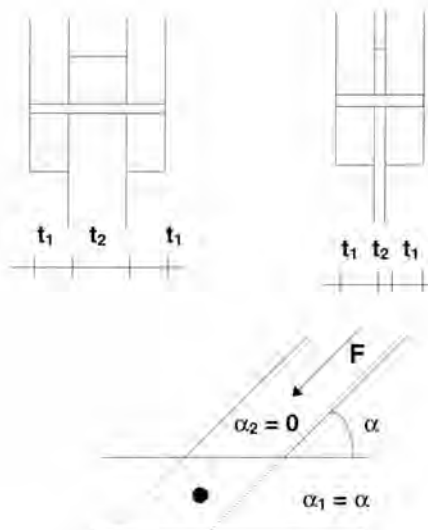
Tabelle A.31 Bemessungswert der Tragfähigkeit R_D [kN] für einschnittige Bau-Furniersperrholz/Holz-Nagelverbindungen

$k_{mod} = 0,9$		vorgebohrt $b_2 \geq 60$ mm				
Nagelabmessungen	$\rho_{k,2}$ [kg/m ³]	b_1	16		25	
			$\rho_{k,1}$	400	600	400
28 x 65	380		0,51	0,64	0,59	0,65
	430		0,52	0,66	0,61	0,67
31 x 65	380		0,58	0,72	0,70	0,77
31 x 70						
31 x 80	430		0,59	0,74	0,73	0,80

Es dürfen näherungsweise die Werte für $380 \text{ kg/m}^3 \leq \rho_k \leq 430 \text{ kg/m}^3$ und/oder die Werte für $0,6 \leq k_{mod} \leq 0,9$ jeweils linear interpoliert werden !



Erläuterungen zu den Tabellen A.24 bis A.31



Erläuterungen zu den Tabellen A.32 bis A.39

Tabelle A.32 Bemessungswert der Tragfähigkeit R_{d} [kN] von **zweischnittigen Holz-Holz-Stabdübel-Verbindungen pro** Scherfuge und Verbindungsmittel.

$k_{mod} = 0,6 \quad \rho_k = 380 \text{ kg/m}^3 \quad \alpha_2 = 0^\circ \text{ (Mittelholz)}, \quad f_{u,k} = 360 \text{ N/mm}^2$											
d_{ST}	α_1	t_2	60				80			100	
			60	80	100	120	80	100	120-160	100	120-200
8	0°		2,39	→							
	30°		2,32	→							
	60°		2,21	→							
	90°		2,10	→			2,15	→			
10	0°		3,60	→			3,70	→			
	30°		3,35	→			3,59	→			
	60°		2,97	→			3,39	→			
	90°		2,82	→			3,31	→			
12	0°		4,56	4,60	→		5,26	→			
	30°		4,30	→			5,02	→		5,10	→
	60°		3,85	→			4,40	→		4,81	→
	90°		3,67	→			4,16	→		4,68	→
16	0°		5,80	7,06	→		7,73	7,91	→	8,93	→
	30°		5,80	6,65	→		7,34	→		8,21	→
	60°		5,80	6,04	→		6,52	→		7,16	→
	90°		5,80	5,81	→		6,20	→		6,76	→
20	0°		6,90	9,20	10,17	→	9,20	10,19	→	11,51	11,92
	30°		6,90	9,20	9,65	→	9,20	10,19	→	11,00	→
	60°		6,90	8,87	→		9,17	→		9,70	→
	90°		6,90	8,37	→		8,78	→		9,22	→
24	0°		7,87	10,49	13,12	13,94	10,49	13,12	14,49	13,12	15,39
	30°		7,87	10,49	13,12	13,28	10,49	13,12	13,62	13,12	14,29
	60°		7,87	10,27	→		10,49	12,38	12,38	12,74	→
	90°		7,87	9,20	→		10,49	11,92	11,92	12,18	→

Tabelle A.34 Bemessungswert der Tragfähigkeit R_{d} [kN] von **zweischnittigen Holz-Holz-Stabdübel-Verbindungen pro** Scherfuge und Verbindungsmittel

$k_{mod} = 0,6 \quad \rho_k = 430 \text{ kg/m}^3 \quad \alpha_2 = 0^\circ \text{ (Mittelholz)}, \quad f_{u,k} = 360 \text{ N/mm}^2$											
d_{ST}	α_1	t_2	60				80			100	
			60	80	100	120	80	100	120-160	100	120-200
8	0°		2,54	→							
	30°		2,47	→							
	60°		2,35	→							
	90°		2,29	→							
10	0°		3,93	→							
	30°		3,69	→					3,82	→	
	60°		3,26	→					3,61	→	
	90°		3,09	→					3,52	→	
12	0°		5,06	→					5,60	→	
	30°		4,71	→					5,42	→	
	60°		4,19	→					4,85	→	5,11
	90°		3,99	→					4,57	→	4,98
16	0°		6,56	7,67	→				8,67	→	9,73
	30°		6,56	7,20	→				8,03	→	9,05
	60°		6,51	→					7,09	→	7,86
	90°		6,24	→					6,74	→	7,41
20	0°		7,81	10,42	10,94	→	10,42	11,86	→	13,02	13,06
	30°		7,81	10,34	→		10,42	11,04	→	12,02	→
	60°		7,81	9,47	→		9,88	→		10,54	→
	90°		7,81	9,14	→		9,44	→		9,99	→
24	0°		8,91	11,87	14,84	14,90	11,87	14,84	15,63	14,84	16,73
	30°		8,91	11,87	14,17	→	11,87	14,64	→	14,84	15,48
	60°		8,91	11,62	→		11,87	13,25	→	13,73	→
	90°		8,91	10,42	→		11,87	12,73	→	13,09	→

Tabelle A.33 Bemessungswert der Tragfähigkeit R_{d} [kN] von **zweischnittigen Holz-Holz-Stabdübel-Verbindungen pro** Scherfuge und Verbindungsmittel

$k_{mod} = 0,9 \quad \rho_k = 380 \text{ kg/m}^3 \quad \alpha_2 = 0^\circ \text{ (Mittelholz)}, \quad f_{u,k} = 360 \text{ N/mm}^2$											
d_{ST}	α_1	t_2	60				80			100	
			60	80	100	120	80	100	120-160	100	120-200
8	0°		2,93	→							
	30°		2,85	→							
	60°		2,70	→							
	90°		2,64	→							
10	0°		4,53	→							
	30°		4,39	→							
	60°		4,07	→			4,16	→			
	90°		3,85	→			4,05	→			
12	0°		6,31	→			6,45	→			
	30°		5,84	→			6,24	→			
	60°		5,15	→			5,89	→			
	90°		4,88	→			5,73	→		5,73	→
16	0°		8,70	9,32	→		10,81	→		11,20	→
	30°		8,69	→			9,94	→		10,81	→
	60°		7,76	→			8,68	→		9,80	→
	90°		7,41	→			8,20	→		9,20	→
20	0°		10,35	13,02	→		13,81	14,46	→	16,24	→
	30°		10,35	12,22	→		13,36	→		14,84	→
	60°		10,35	11,07	→		11,81	→		12,85	→
	90°		10,35	10,64	→		11,23	→		12,12	→
24	0°		11,80	15,74	17,47	→	15,74	18,72	→	19,67	20,44
	30°		11,80	15,74	16,50	→	15,74	17,40	→	18,75	→
	60°		11,80	15,09	→		15,55	→		16,41	→
	90°		11,80	13,81	→		14,87	→		15,56	→

Tabelle A.35 Bemessungswert der Tragfähigkeit R_{d} [kN] von **zweischnittigen Holz-Holz-Stabdübel-Verbindungen pro** Scherfuge und Verbindungsmittel

$k_{mod} = 0,9 \quad \rho_k = 430 \text{ kg/m}^3 \quad \alpha_2 = 0^\circ \text{ (Mittelholz)}, \quad f_{u,k} = 360 \text{ N/mm}^2$											
d_{ST}	α_1	t_2	60				80			100	
			60	80	100	120	80	100	120-160	100	120-200
8	0°		3,12	→							
	30°		3,03	→							
	60°		2,87	→							
	90°		2,80	→							
10	0°		4,82	→							
	30°		4,67	→							
	60°		4,42	→							
	90°		4,25	→					4,31	→	
12	0°		6,86	→							
	30°		6,45	→					6,64	→	
	60°		5,66	→					6,26	→	
	90°		5,35	→					6,10	→	
16	0°		9,84	10,19	→				11,91	→	
	30°		9,47	→					10,95	→	11,50
	60°		8,42	→					9,52	→	10,78
	90°		8,02	→					8,98	→	10,15
20	0°		11,72	14,11	→				15,62	15,84	→
	30°		11,72	13,20	→				14,59	→	16,34
	60°		11,72	11,89	→				12,82	→	14,08
	90°		11,40	→					12,16	→	13,25
24	0°		13,36	17,81	18,79	→	17,81	20,34	→	22,26	22,40
	30°		13,36	17,69	→		17,81	18,84	→	20,47	→
	60°		13,36	16,11	→		16,74	→		17,81	→
	90°		13,36	15,52	→		15,97	→		16,85	→

Es dürfen näherungsweise die Werte für $380 \text{ kg/m}^3 \leq \rho_k \leq 430 \text{ kg/m}^3$ **oder** die Werte für $0,6 \leq k_{mod} \leq 0,9$ linear interpoliert werden!
Für **Vorbemessungen** können die Werte für $0^\circ < \alpha < 90^\circ$ näherungsweise linear interpoliert werden! (vgl. Abschn. 5.6.2)
"→": Die Werte gelten für alle weiteren Querschnitte

Tabelle A.36 Bemessungswert der Tragfähigkeit R_d [kN] für **zweischnittige Stahlblech-Holz-Stabdübel-Verbindungen mit innenliegendem Stahlblech pro Scherfuge und Verbindungsmittel**,

$k_{mod}=0,6 \quad \rho_k = 380 \text{ kg/m}^3 \quad f_{u,k} = 360 \text{ N/mm}^2$								
"→": Die Werte gelten für alle weiteren Querschnitte								
d_{ST}	α_1	t_1	38	48	58	78	98	118
8	0°		2,69	3,01	3,26	→		
	30°		2,49	2,76	3,08	3,08	→	
	60°		2,16	2,39	2,64	2,80	→	
	90°		2,08	2,25	2,47	2,69	→	
10	0°		3,85	4,15	4,53	5,04	→	
	30°		3,59	3,83	4,15	4,75	→	
	60°		3,19	3,35	3,58	4,18	4,30	→
	90°		3,04	3,17	3,37	3,90	4,11	→
12	0°		5,31	5,54	5,90	6,84	7,18	→
	30°		4,96	5,13	5,42	6,20	6,74	→
	60°		4,13	4,53	4,72	5,29	6,01	6,07
	90°		3,77	4,30	4,46	4,95	5,58	5,80
16	0°		7,34	9,17	9,38	10,20	11,34	12,47
	30°		6,40	8,08	8,66	9,28	10,21	11,33
	60°		5,09	6,43	7,64	8,00	8,64	9,45
	90°		4,62	5,83	7,05	7,53	8,07	8,78
20	0°		8,74	11,04	13,34	14,44	15,43	16,74
	30°		7,52	9,50	11,48	13,20	13,94	14,98
	60°		5,88	7,42	8,97	11,50	11,91	12,59
	90°		5,30	6,69	8,09	10,88	11,19	11,74
24	0°		9,97	12,59	15,21	19,47	20,35	21,49
	30°		8,46	10,69	12,92	17,37	18,45	19,28
	60°		6,50	8,27	9,93	13,35	15,91	16,34
	90°		5,83	7,36	8,89	11,96	15,00	15,31

Tabelle A.37 Bemessungswert der Tragfähigkeit R_d [kN] für **zweischnittige Stahlblech-Holz-Stabdübel-Verbindungen mit innenliegendem Stahlblech pro Scherfuge und Verbindungsmittel**

$k_{mod}=0,9 \quad \rho_k = 380 \text{ kg/m}^3 \quad f_{u,k} = 360 \text{ N/mm}^2$								
"→": Die Werte gelten für alle weiteren Querschnitte								
d_{ST}	α_1	t_1	38	48	58	78	98	118
8	0°		3,62	3,99	→			
	30°		3,33	3,78	→			
	60°		2,89	3,26	3,43	→		
	90°		2,72	3,05	3,29	→		
10	0°		5,02	5,59	6,17	→		
	30°		4,64	5,12	5,69	5,82	→	
	60°		4,07	4,42	4,85	5,26	→	
	90°		3,85	4,15	4,54	5,04	→	
12	0°		6,74	7,27	7,95	8,79	→	
	30°		6,25	6,67	7,23	8,26	→	
	60°		5,53	5,80	6,21	7,24	7,43	→
	90°		5,25	5,48	5,82	6,74	7,11	→
16	0°		11,01	11,51	12,08	13,70	15,27	15,27
	30°		9,60	10,63	11,05	12,36	14,02	14,25
	60°		7,64	9,36	9,60	10,48	11,69	12,71
	90°		6,93	8,75	9,06	9,79	10,85	12,08
20	0°		13,11	16,57	17,38	18,73	20,69	23,00
	30°		11,28	14,25	15,97	16,94	18,49	20,38
	60°		8,81	11,14	13,46	14,51	15,52	16,85
	90°		7,95	10,04	12,13	13,64	14,47	15,60
24	0°		14,95	18,88	22,82	24,79	26,48	28,71
	30°		12,70	16,04	19,38	22,51	23,73	25,46
	60°		9,75	12,32	14,89	19,44	20,09	21,18
	90°		8,74	11,04	13,34	17,95	18,81	19,69

Tabelle A.38 Bemessungswert der Tragfähigkeit R_d [kN] für **zweischnittige Stahlblech-Holz-Stabdübel-Verbindungen mit innenliegendem Stahlblech pro Scherfuge und Verbindungsmittel**

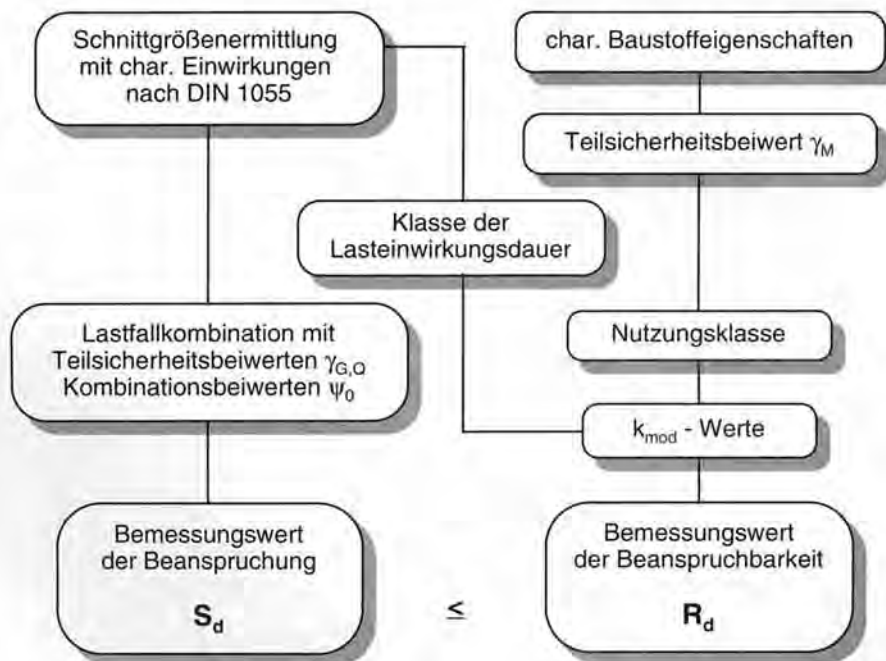
$k_{mod}=0,6 \quad \rho_k = 430 \text{ kg/m}^3 \quad f_{u,k} = 360 \text{ N/mm}^2$								
"→": Die Werte gelten für alle weiteren Querschnitte								
d_{ST}	α_1	t_1	38	48	58	78	98	118
8	0°		2,93	3,31	3,47	→		
	30°		2,71	3,04	3,28	→		
	60°		2,38	2,62	2,92	2,98	→	
	90°		2,25	2,46	2,73	2,86	→	
10	0°		4,17	4,53	4,99	5,36	→	
	30°		3,87	4,17	4,56	5,05	→	
	60°		3,43	3,63	3,92	4,57	→	
	90°		3,26	3,43	3,68	4,31	4,38	→
12	0°		5,70	6,00	6,44	7,56	7,63	→
	30°		5,31	5,54	5,90	6,84	7,17	→
	60°		4,67	4,87	5,11	5,80	6,46	→
	90°		4,27	4,62	4,82	5,42	6,17	6,17
16	0°		8,31	9,80	10,10	11,12	12,49	13,26
	30°		7,24	9,10	9,30	10,10	11,22	12,38
	60°		5,76	7,28	8,17	8,66	9,45	10,41
	90°		5,22	6,60	7,75	8,13	8,81	9,65
20	0°		9,89	12,50	14,88	15,58	16,82	18,40
	30°		8,51	10,75	12,99	14,20	15,15	16,41
	60°		6,65	8,40	10,15	12,31	12,88	13,72
	90°		5,99	7,57	9,15	11,62	12,06	12,77
24	0°		11,28	14,25	17,21	21,05	21,98	23,40
	30°		9,58	12,10	14,62	19,26	19,86	20,92
	60°		7,36	9,29	11,23	15,11	17,03	17,63
	90°		6,59	8,33	10,07	13,54	16,03	16,48

Tabelle A.39 Bemessungswert der Tragfähigkeit R_d [kN] für **zweischnittige Stahlblech-Holz-Stabdübel-Verbindungen mit innenliegendem Stahlblech pro Scherfuge und Verbindungsmittel**

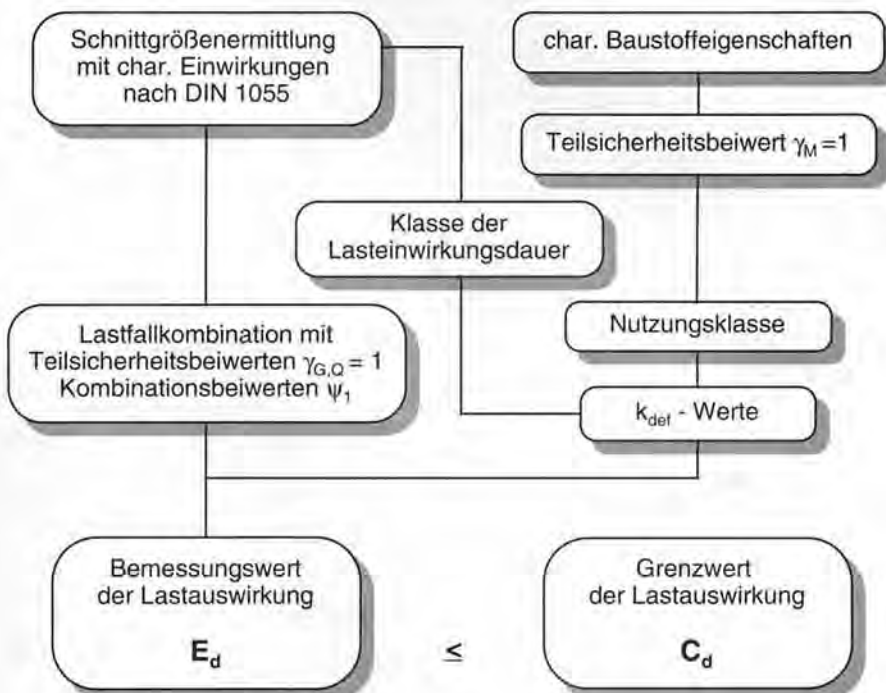
$k_{mod}=0,9 \quad \rho_k = 430 \text{ kg/m}^3 \quad f_{u,k} = 360 \text{ N/mm}^2$								
"→": Die Werte gelten für alle weiteren Querschnitte								
d_{ST}	α_1	t_1	38	48	58	78	98	118
8	0°		3,99	4,25	→			
	30°		3,66	4,02	→			
	60°		3,16	3,60	3,45	→		
	90°		2,98	3,37	3,50	→		
10	0°		5,48	6,16	6,57	→		
	30°		5,04	5,62	6,19	→		
	60°		4,41	4,83	5,35	5,60	→	
	90°		4,17	4,53	4,99	5,36	→	
12	0°		7,29	7,94	8,75	9,35	→	
	30°		6,73	7,27	7,94	8,79	→	
	60°		5,93	6,29	6,78	7,91	→	
	90°		5,63	5,93	6,35	7,44	7,56	→
16	0°		11,97	12,41	13,13	15,08	16,24	→
	30°		10,86	11,42	11,97	13,56	15,16	→
	60°		8,64	10,02	10,34	11,44	12,88	13,52
	90°		7,84	9,50	9,75	10,67	11,93	12,88
20	0°		14,84	18,24	18,69	20,39	22,74	24,77
	30°		12,76	16,12	17,12	18,39	20,27	22,50
	60°		9,98	12,60	14,95	15,66	16,93	18,52
	90°		8,99	11,36	13,73	14,69	15,74	17,11
24	0°		16,92	21,37	25,57	26,75	28,86	31,54
	30°		14,37	18,15	21,93	24,20	25,77	27,87
	60°		11,04	13,94	16,85	20,80	21,69	23,05
	90°		9,89	12,50	15,10	19,59	20,26	21,38

Es dürfen näherungsweise die Werte für $380 \text{ kg/m}^3 \leq \rho_k \leq 430 \text{ kg/m}^3$ oder die Werte für $0,6 \leq k_{mod} \leq 0,9$ linear interpoliert werden ! Für **Vorbemessungen** können die Werte für $0^\circ < \alpha < 90^\circ$ näherungsweise linear interpoliert werden ! (vgl. Abschn. 5.6.2)

Ablauf der Bemessung beim Nachweis der Tragfähigkeit



Ablauf der Bemessung beim Nachweis der Gebrauchstauglichkeit



Begriffe

Beanspruchbarkeit = Widerstandsfähigkeit eines Bauteiles, einer Verbindung oder einer Konstruktion

Beanspruchung = im wesentlichen Spannungen, verursacht durch die Einwirkungen und deren Schnittgrößen

Bemessungswerte = die der Bemessung zugrundegelegte Werte, die sich nach Modifikation der charakteristischen Werte ergeben

charakteristische Werte = Ausgangsgrößen für die Einwirkungen und die Beanspruchbarkeit, die im weiteren Verlauf der Berechnung modifiziert werden

Einwirkungen = Lasten im bisherigen Sprachgebrauch

Gebrauchswerte der Schnittgrößen oder Spannungen = Werte, die sich auf der Grundlage der Lasten nach der Normenreihe DIN 1055 ergeben (= Basis-Schnittgrößen)

Lastauswirkung = im wesentlichen Verformungen und Schwingungen

Abkürzungen

BauPR Bauproduktenrichtlinie

BFU Bau-Furniersperrholz

BSG Basis-Schnittgröße

BSH Brettschichtholz

CEN Comite Europeen de Normalisation

DIN Deutsches Institut für Normung

EC 5 Eurocode 5 (Holzbauwerke), DIN V ENV 1995-1-1

EN Europäische Norm

ENV Europäische Vornorm

ETA Europäische Zulassung

FP Flachpreßplatten

HF Holz-Faserplatten

KEG Kommission der Europäischen Gemeinschaften

LFK Lastfallkombination

NABau Normenausschuß für Bauwesen

NAD Nationales Anwendungsdokument zum EC 5

SG Schnittgröße

VH Vollholz

Symbole

Hauptzeiger

A außergewöhnliche Einwirkung und Fläche

C Nennwert (constant)

E Lastauswirkung (effect of action), und Elastizitätsmodul

F Einwirkung (force)

G ständige Einwirkung und Schubmodul

K Verschiebungsmodul

M Moment, Fließmoment des Stahls bei Verbindungsmitteln

R Beanspruchbarkeit (resistance)

Q veränderliche Einwirkung

S Schnittgrößen (strain)

V Volumen

X beliebige Eigenschaft

a Abstand (Länge)

b,l Breite, Länge

d Durchmesser

f Beanspruchbarkeit (im Regelfall Festigkeit) und Eigenfrequenz

h Höhe

i Steigung (1:i)

k Faktor

l Länge

m Masse

q Streckenlast

r Radius

t Holzdicke, Eindringtiefe eines Verbindungsmittels (thickness)

u Holzfeuchte und Verformung

v Geschwindigkeitsreaktion

α Winkel zwischen Kraft- und Faserichtung

β Vorkrümmungsbeiwert, Verhältnis der Lochleibungsfestigkeiten

γ Teilsicherheitsbeiwert ('Gamma')

λ Schlankheit ('Lambda')

ϕ Schiefstellung ('Phi')

Ψ Beiwert für Lastfallkombinationen ('Psi')

κ materialabhängiger Wert beim Kippnachweis ('Kappa')

σ Spannung ('Sigma')

ζ modaler Dämpfungsgrad ('Zeta')

ρ Rohdichte ('Rho')

Fußzeiger

A außergewöhnliche Einwirkung

F Einwirkungen (forces)

G ständige Einwirkungen

M Material

Q veränderliche Einwirkungen

ap First (apex)

c Druck (compression)

crit kritischer Wert (critical)

d Bemessungswert (design)

def Deformation

dis Verteilung der Öoerzugspannungen im Firstbereich (distribution)

ef wirksamer Wert (effective)

f Frequenz

fin Endwert der Verformung u (final)

h Höhe, Lochleibung bei Verbindungsmitteln

in innerer Radius

inst Anfangswert der Verformung u (instantaneous)

k charakteristisch

l Biegerandspannung im Firstquerschnitt (lengthwise)

mean Mittelwert

m Biegung (bending moments)

mod Modifikation

n Faktor bei Ausklinkungen (notched beams)

net Netto-Durchbiegung

p Querzugspannungen im Firstquerschnitt (perpendicular)

r Biegung/krümmung der Lamellen

red Reduzierungsfaktor

rel Bezugswert (relative)

ser Anfangswert des Verschiebungsmoduls K (serviceability)

t Zug (tension)

tor Torsion

u Stahl-Zugfestigkeit (ultimate)

v Schub- bzw. Scherbeanspruchung

vol Volumen

α Winkel

0,90 Winkel zwischen Kraft- und Faserichtung des Holzes

5 5%-Fraktile

Impressum

Herausgeber:

Absatzförderungsfonds der deutschen Forst- und Holzwirtschaft
– HOLZABSATZFONDS –
Anstalt des öffentlichen Rechts
Godesberger Allee 142–148
D-53175 Bonn

und

DGfH Innovations- und Service GmbH
Postfach 31 01 31
D-80102 München
mail@dgfh.de
www.dgfh.de

Verfasser:

Abschnitt Bemessungsgrundlagen und Anhänge:
Dr.-Ing. François Colling, Mering
Dipl.-Ing. Gerhard Wagner, Kassel
Dipl.-Ing. Stefan Winter, Lauterbach

Abschnitt Bemessungsbeispiele:

Dipl.-Ing. Martina Biermann, Essen
Prof. Dr.-Ing. Heinz Brüninghoff, Wuppertal
Üipl.-Ing. Hermann Jacobs, Wuppertal
Dipl.-Ing. Tobias Wiegand, Wuppertal

Technische Anfragen an:

Infoline: 01802-465900
(0,06 Euro/Gespräch)
fachberatung@infoholz.de
www.informationsdienst-holz.de

Hinweise zu Änderungen,

Ergänzungen und Errata unter:
www.informationsdienst-holz.de

Die technischen Informationen dieser Schrift entsprechen zum Zeitpunkt der Drucklegung den anerkannten Regeln der Technik. Eine Haftung für den Inhalt kann trotz sorgfältigster Bearbeitung und Korrektur nicht übernommen werden.

In dieser Broschüre sind Ergebnisse aus zahlreichen Forschungsprojekten eingeflossen. Für deren Förderung danken wir der Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen (AIF), der Arbeitsgemeinschaft Bauforschung (ARGE BAU), den Forst- und Wirtschaftsministerien des Bundes und der Länder und der Holzwirtschaft.

Erschienen: 05/1995
Unveränderter Nachdruck: 12/1999
ISSN-Nr.: 0466-2114